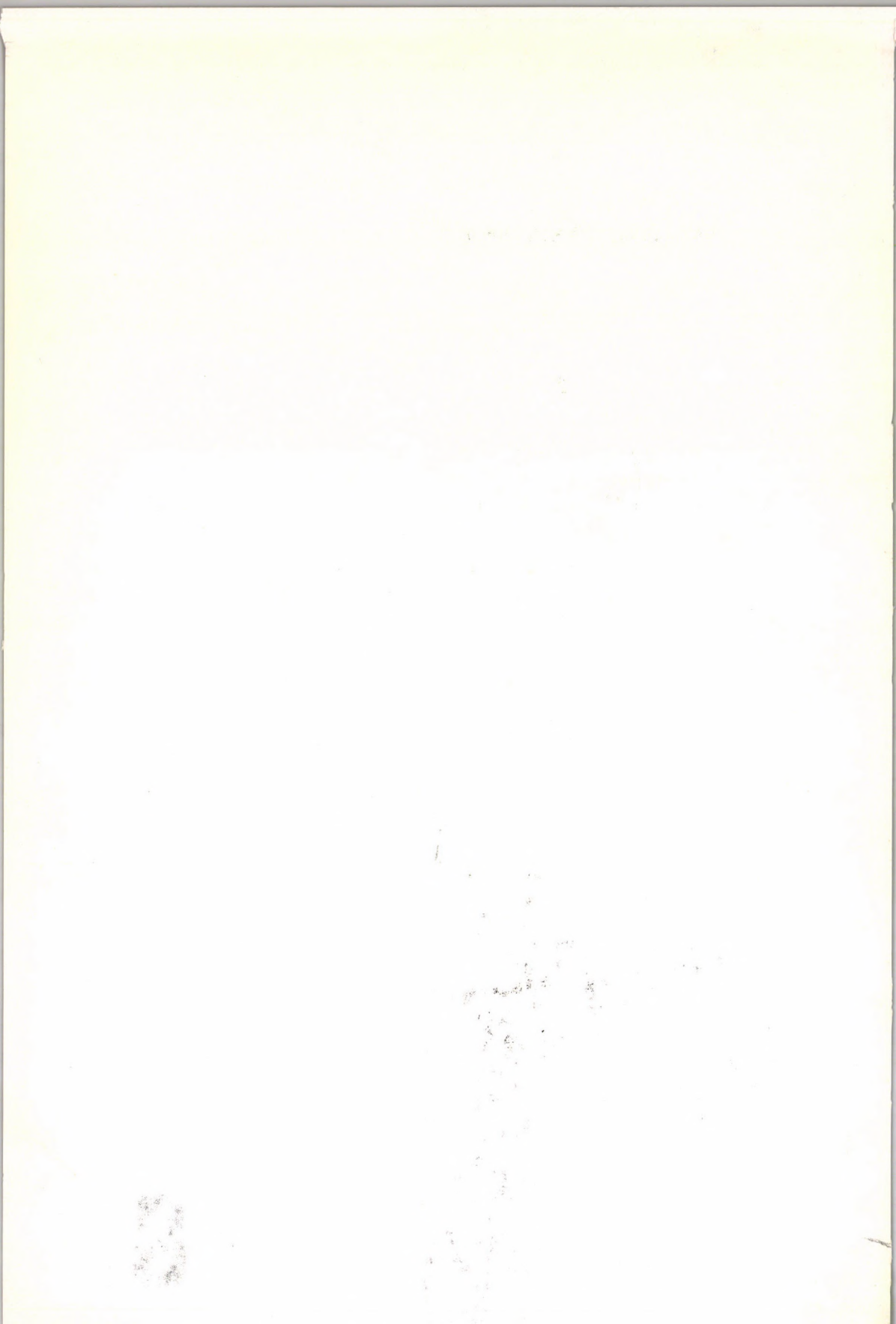


MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

VESZPRÉMI AKADÉMIAI BIZOTTSÁGA  
MONOGRÁFIÁI

VILÁD

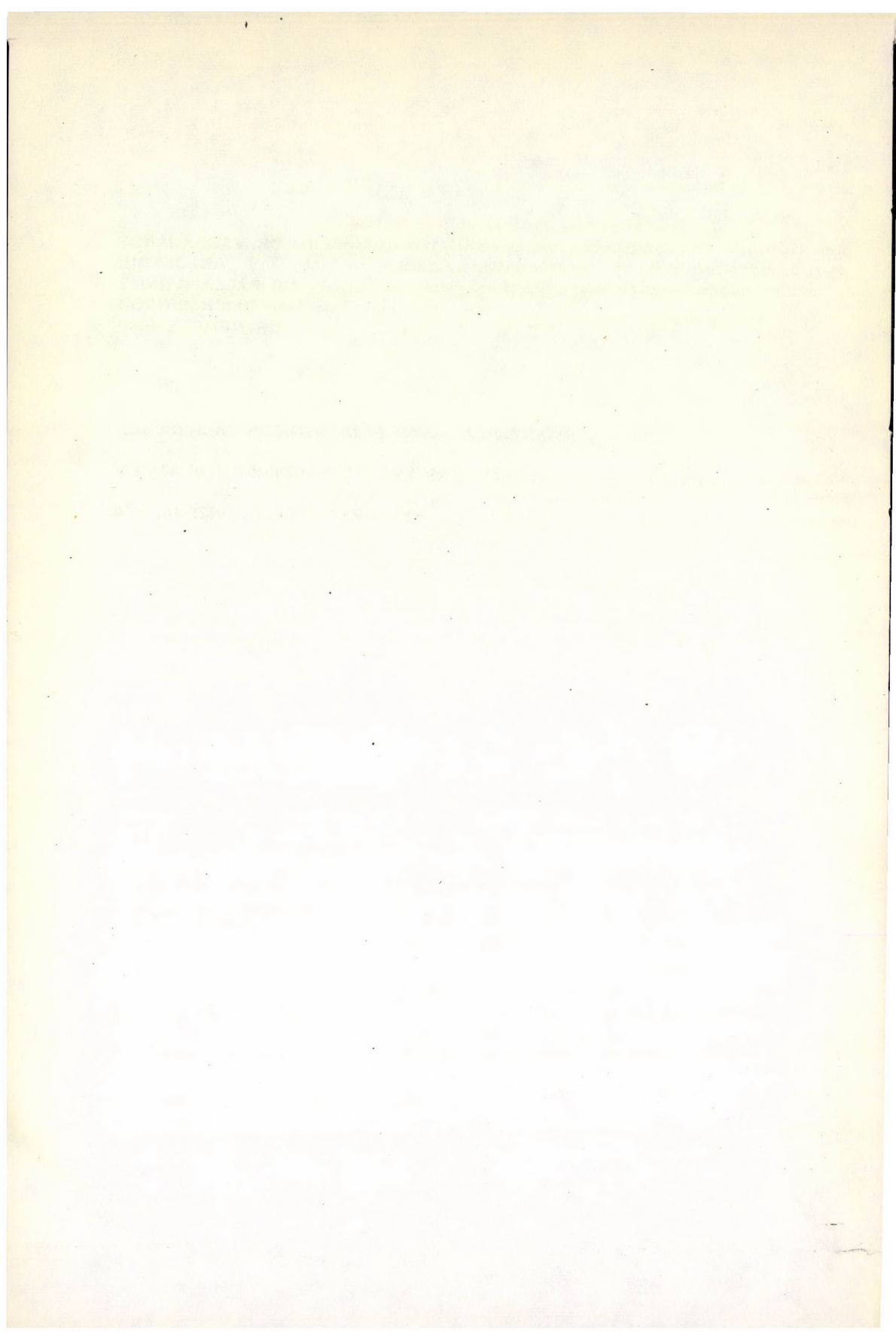
8





**DR. VARGA JÁNOS  
ARADI EMIL  
DR. PALLAI IVÁNNÉ  
DR. BLICKLE TIBOR  
DR. NÉMETH JENŐ**

**INTENZÍV SZÁRÍTÁSI ELJÁRÁSOK MEZŐGAZDASÁGI  
ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK KUTATÁSA ÉS  
RENDSZERELMÉLETI VIZSGÁLATA**



**MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
VESZPRÉMI AKADÉMIAI BIZOTTSÁGA  
MONOGRÁFIA**

**INTENZÍV SZÁRÍTÁSI ELJÁRÁSOK MEZŐGAZDASÁGI  
ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK KUTATÁSA ÉS  
RENDSZERELMÉLETI VIZSGÁLATA**

**IV. ÉVFOLYAM  
SOROZATSZÁM: 8**

**3. SZÁM**

**VESZPRÉM  
1978.**



**AZ  
AGRÁRTUDOMÁNYI SZAKBIZOTTSÁG  
és a  
SZÁMITÁSTECHNIKAI ÉS RENDSZERELMÉLETI SZAKBIZOTTSÁG  
KÖZLEMÉNYE**

**SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG**

**Dr. Szántó András elnök, Dr. Bakáts Tibor  
Dr. Gyenis János, Éri István, Dr. Kárpáti István  
Dr. Kerényi Ervin, Dr. Majer Antal, Dr. Nyéki Jenő  
Dr. Paczolay Gyula, Dr. Salánki János, Dr. Szőnyi Jenő  
Kovács István technikai szerkesztő**

**LEKTORÁLTA  
Dr. Gyenis János**



## TARTALOM

### I. FEJEZET

VARGA J. – ARADI E.:

#### A ZÖLDTAKARMÁNY SZÁRÍTÁS FEJLESZTÉSI IRÁNYAI ÉS A GAZDASÁGOSSÁG NÖVELESÉNEK LEHETŐSÉGEI .....7

1. A zöldliszt készítés gazdaságosságának növelése részlegesen préselt lucernaszeccsa szárításával ..... 8
2. Dobrendszerű zöldtakarmányszárítók elemzése és korszerűsítésük lehetőségei ..... 12
3. Szeparáló szárító alkalmazása zöldtakarmányok szárítására ..... 19
4. Lucernale tartósítása szárítási módszerekkel ..... 20
5. Összefoglalás ..... 23
6. Irodalom ..... 25

### II. FEJEZET

ARADI E.:

#### ZÖLDTAKARMÁNY SZÁRÍTÁSI KÍSÉRLETEK LEBEGTETŐ ÉS ESŐRÉTEGŰ SZEPARÁLÓ SZÁRÍTÓVAL ..... 27

1. Lebegtető szárító hazai kialakítása és alkalmazása ..... 29
2. A lebegtető szárító elemzése ..... 31
  - a. A szárító töltet mennyiségének meghatározása lebegtető szárítóban ..... 32
  - b. Másodfokú diffúzor statikus elemzése ..... 38
  - c. A lebegtető diffúzor működése ..... 43
  - d. A szárító réteg fogalma és meghatározása pneumatikus csőszárítónál ..... 44
  - e. A lebegtetési eljárás értelmezése ..... 47
3. Esőrétegű szeparáló szárító kialakítása és leírása ..... 52
  - a. Kísérleti eredmények esőrétegű szeparáló szárítóval ..... 54
4. Összefoglalás ..... 57
5. Irodalom ..... 59

### III. FEJEZET

PALLAINÉ, VARSÁNYI E.:

#### SZÁRÍTÁSI KÍSÉRLETEK GEJZÍR-RENDSZERŰ SZÁRÍTÓ KÉSZÜLÉKKEL .....61

1. A gejzír eljárás általános ismertetése ..... 61
2. Újabb típusú gejzír-készülékek ismertetése ..... 70
3. Paprika szárítási kísérletek ..... 78
4. Takarmánykukorica szárítási kísérletek ..... 81
5. Pasztaszerű anyagok, szuszpenziók, levek szárítása gejzír-rendszerű szárítóban ..... 85
6. Összefoglalás ..... 89
7. Irodalom ..... 90

#### IV. FEJEZET

BLICKLE, T. – NÉMETH, J. – PALLAINÉ, VARSÁNYI E.:

**SZÁRÍTÓBERENDEZÉSEK RENDSZERSZEMLELETŰ**

**VIZSGÁLATA** ..... 91

Összefoglalás ..... 119

Irodalom ..... 120



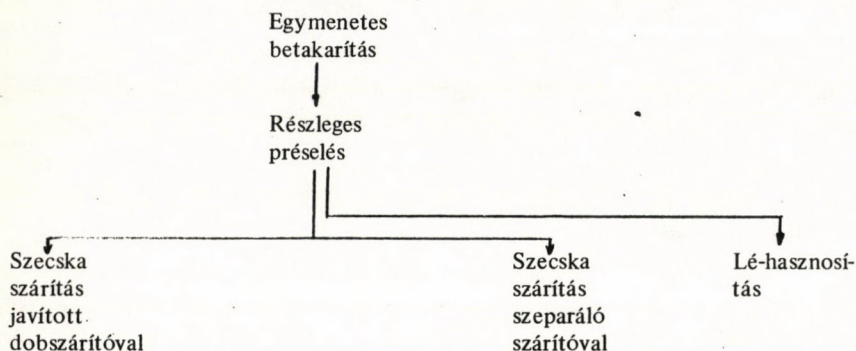
## I. FEJEZET

VARGA JÁNOS – ARADI EMIL

### A ZÖLDTAKARMÁNY SZÁRÍTÁS FEJLESZTÉSI IRÁNYAI ÉS A GAZDASÁGOSSÁG NÖVELÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI

#### BEVEZETÉS

A zöldtakarmány gyors-szárítás gazdaságossága sokféleképpen javítható. A MONOGRÁFIA a nyersanyag előkészítés technológiájának új alapokra való helyezésével és a dobszárítók korszerűsítésének-, valamint újabb rendszerű szárítók alkalmazásának az előnyeivel foglalkozik. A vizsgált folyamatok legjobban az alábbi ábrán szemléltethetők, ami a kutatásaink jelenlegi és további irányát is kijelöli e témakörben.



A kutatások ilyen irányát nem elsősorban a lé-hasznosítás esetleges előnyei jelölték ki, hanem az a felismerés, hogy a jelenlegi előfonnyasztásos betakarítási rendszernél igen jelentősek a minőségi veszteségek az időjárás következtében; és hogy ez utóbbinak a részleges préselés általi kiküszöbölésével jelentősen

- növelhető a szárítóüzem évi termelése és
- javítható a szárítóüzem átlagos termékminősége.

Hozzászámítva ehhez, hogy egy ilyen eljárással készült szecsksa-liszt fajlagos előállítási költsége azonos lehet a jelenlegiével – az eljárás előnyei kézenfekvőek. Az azonos költségszint abból következtethető, hogy az egymenetes betakarítás olcsóbb mint a kétmenetes, amely különbözet fedezheti a részleges préselés költségeit. A préseléses eljárás (esetleg) a présle hasznosításának figyelembevétele nélkül is gazdaságos lehet. Ezt azért fontos hangsúlyozni, mert a présle hasznosítására még nincsenek minden vonatkozásban kidolgozott módszerek.

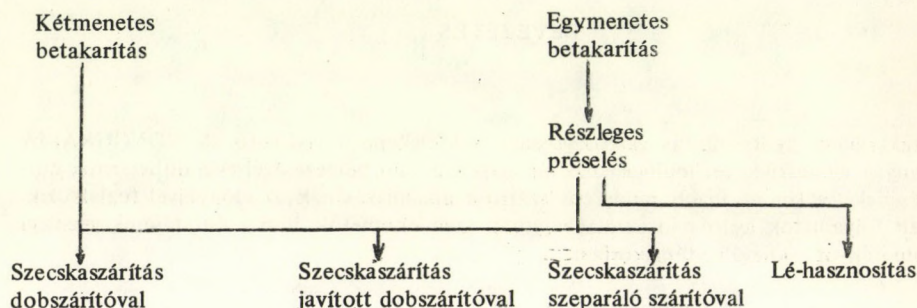
A vázolt eljárás szárító-berendezései:

- a korszerűsített dobszárító,
- a szeparáló szárító és
- a lé porító-szárító;

utóbbi természetesen abban az esetben ha a présle hasznosítása szárított állapotban történik.

A korszerűsített dobszáritónak és a szeparáló száritónak az elemzése azonban a jelenlegi (kétmenetes) technológiai rendszer esetében is változatlan jelentőségű. Ujabb kutatások szerint ugyanis az MGF és LKB típusú száritódobok kifogásolhatók a száritmány minősége szempontjából. A szeparáló-száritó pedig nemcsak mentes ettől a hátránytól, hanem nagyobb fajlagos teljesítményénél fogva kisebb terjedelmű, és így feltehetően olcsóbb is, mint a dobszáritó.

A korszerű préseléses eljárás és a jelenlegi kétmenetes technológia – előbbi térhódításával – szükségszerűen kapcsolódik egymáshoz különféle kombinációk formájában. A lehetséges kapcsolódási módokat az alábbi ábra szemlélteti:



Az ábra szerint a kétmenetes betakarítás javítható a korszerűsített dobszáritó-, vagy szeparáló száritó alkalmazásával; de a préseléses eljárás meglévő dobszáritós üzemben is bevezethető.

#### 1. A zöldliszt készítés gazdaságosságának növelése részlegesen préselt lucernaszeccs száritásával

A zöldtakarmány-gyorszáritás gazdaságosságának mai helyzetéből indulunk ki. Országos adatok alapján egy átlagos MGF típusú száritóüzem termelése az alábbi táblázat adataival jellemezhető:

MGF típusú száritóüzem átlagos termelési adatai

1.1 táblázat

Min. oszt.	ÉVI TERMELES		Értékesítési ár Ft/t	Összes term. ért. eFt.
	t	%		
I	1248	32	3900	4867,2
II	1092	28	3650	3985,8
III	1092	28	3200	3494,4
o.al.	468	12	1000	468,0
	3900	100		12815,4



Látható, hogy az átlagos évi termelés 3900 tonna, és az ebből származó összes termelési érték 12,8 millió forint. Az átlagos önköltséget 2000 Ft/t-ra becsülve egy MGF üzem nyeresége kerekén évi 5 millió Ft-ra tehető. Abban az esetben is, ha a gazdaság csak az I. és II. osztályú terméket értékesíti, még mindig mutatkozik 1 millió Ft. nyereség; a III. osztályú termék pedig gazdaságon belül felhasználható.

A lucerna szárítása tehát mindenképpen gazdaságos. Nem lehetünk azonban elégedettek akkor, ha kiszámítva a fenti modell-üzem össztermelésének átlagos értékesítési árát (3286 Ft/t) azt látjuk, hogy ez alig haladja meg a III. osztályú árszintet. Másszóval a szárítóüzem termelvényének átlagos minősége: harmadosztályú.

Egy szárítóüzem éves termelési értéke a következőképpen számítható:

$$P = GnF \text{ Ft/év,} \quad (1.1)$$

ahol  $G$  kg/ó az óránként előállított szárítmány átlagos mennyisége,  $n$  az évi üzemórák száma,  $F$  Ft/t pedig a szárítmány átlagos értékesítési ára.

A szárító  $W$  kg/ó vízpárológató teljesítményét állandónak véve a szárítmány mennyiségére felírhatjuk, hogy

$$G = W \frac{1 - w_1}{w_1 - w_2}$$

A szárítmány átlagos értékesítési ára pedig értelemszerűen:  $F = (f_I g_I + f_{II} g_{II} + f_{III} g_{III} + f_{IV} g_{IV})$ , vagyis az I-III. . IV. osztályú termékek  $f$  értékesítési árából és  $g$  mennyiségi hányadából számított összeg. Ezekkel az értékekkel a szárítóüzem termelési értéke:

$$P = W \frac{1 - w_1}{w_1 - w_2} n (f_I g_I + f_{II} g_{II} + f_{III} g_{III} + f_{IV} g_{IV}) , \quad (1.2)$$

azaz:

$$P = W \frac{1 - w_1}{w_1 - w_2} n \sum fg. \quad (1.3)$$

Látható, hogy a termelési érték egyenesen arányos az évi üzemórák ( $n$ ) számával, függ a termék kezdeti ( $w_1$ ) és végső ( $w_2$ ) nedvességtartalmától, valamint a termelt áru minőségi osztályainak ( $g$ ) mennyiségi megoszlásától.

Tudnunk kell azonban, hogy itt az anyag  $w_1$  és  $w_2$  nedvességtartalmi átlagértékek. Ennek igen fontos gyakorlati jelentősége abban van, hogy ha az évi termelés folyamán  $w_1$  értéke pl. 66 % és 78 % között ingadozik, akkor a termelési érték lényegesen kisebb lesz, mintha  $w_1$  az egész időny folyamán az átlagnak megfelelő 71 % közelében lenne. Akkor ugyanis, amikor 66 %-os lucernát dolgoz fel az üzem, a szárítmány feltehetően III-IV. osztályú lesz és így  $\sum fg$  értéke kicsi lesz; akkor pedig, amikor a nyersanyag nedvességtartalma 78 %-os, a minőség ugyan jó, de kicsi a teljesítmény, azaz

$$Wn(1-w_1)$$

lesz kicsi. Az pedig köztudomású, hogy renden való előfonnyasztással a lucerna nedvességtartalma nem állítható be az egész – májustól szeptemberig tartó – idény folyamán az optimális 70 % közelébe. Ez csak a préseléses technológia bevezetésével valósítható meg. Számítások szerint (üzemi összehasonlító kísérletek hiányában) a nyersanyag nedvességének állandó értéken tartásával a szárítóüzemek nyeresége 30-35 %-al növelhető.

A kipréselt lucernából készített lisztre vonatkozóan számszerű adataink nincsenek; a kereskedelem azonban nem tesz különbséget a préselt és préseletlen lucernából készült liszt között.

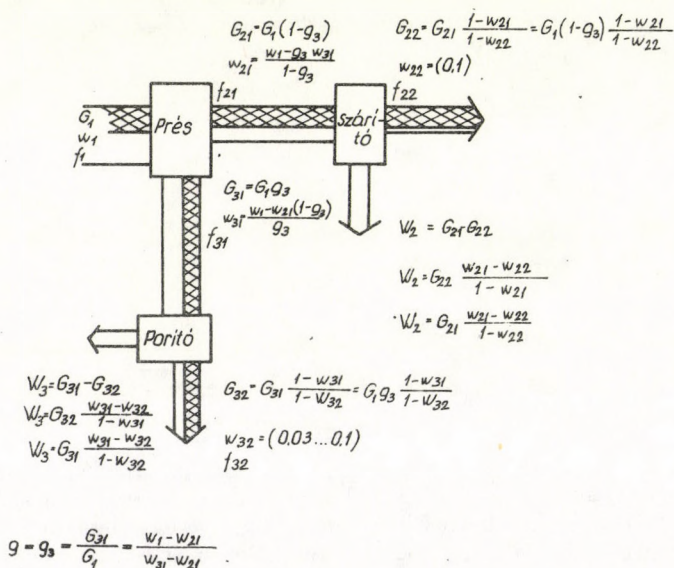
A nyers zöldtakarmány-, a szárított présmaradék- és a porított lé mennyisége és fehérjetartalma között szoros összefüggések állnak fenn. Ezek egy részét veszteségmentes gyártás esetére az 1.1 ábrán tüntettük fel (a jelölések magyarázatát az 1.2. táblázat tartalmazza).

Főlrva azt, hogy a présogácsa-szártmányban lévő fehérjemennyiség és a léporban lévő fehérjemennyiség összege a kiinduló nyers lucernában lévő fehérje mennyiségével azonos, vagyis, hogy

$$f_1 = f_{22} (1 - g) \frac{1 - w_{21}}{1 - w_{22}} + f_{32} g \frac{1 - w_{31}}{1 - w_{32}} \quad (1.4)$$

kiszámítható a présogácsa-szártmány fehérjetartalma:

$$f_{22} = (f_1 - f_{32} g \frac{1 - w_{31}}{1 - w_{32}}) : (1 - g) \frac{1 - w_{21}}{1 - w_{22}} \quad (1.5)$$



1.1 ábra  
A préseléses technológia egy változatának anyagmérlege



A préseléses lucernafeldolgozás nyersanyagának és termékének (pogácsa-szárítmány és lépor) minősége és mennyiségi megoszlása veszteségmentes gyártás esetén. (Modell számítás)

1.2. táblázat

A modell jele	1	2	3
A nyers lucerna nedvességtartalma	w <sub>1</sub>	0,82	0,80
A nyers lucerna fehérjetartalma	f <sub>1</sub>	0,055	0,054
A vízmentes lucerna fehérjetartalma	f <sub>o</sub>	0,305	0,27
A préslé nedvességtartalma	w <sub>31</sub>	0,90	0,88
A lépor fehérjetartalma	f <sub>32</sub>	0,35	0,40
A présmaradék nedvességtartalma	w <sub>21</sub>	0,70	0,55
A szárított présmaradék nedvességtartalma	w <sub>22</sub>	0,10	0,10
A lépor nedvességtartalma	w <sub>32</sub>	0,10	0,10
A kipréselt lé aránya	g	0,60	0,7575
A szárított présmaradék fehérjetartalma	f <sub>22</sub>	0,2375	0,1122
A szárított présmaradék mennyisége	G <sub>22</sub>	0,1333	0,1212
A lépor mennyisége	G <sub>32</sub>	0,0666	0,1010
A szárított présmaradék és lépor mennyisége	G <sub>22</sub> +G <sub>32</sub>	0,20	0,222

Ezzel a megfontolásokkal modellszámításokat végeztünk veszteségmentes gyártás esetére; a pogácsa szárítása mellett a lucernalének is szárítási feldolgozását irányoztuk elő, mint legegyszerűbbet, bár a lé sokféleképpen feldolgozható. A számítások adatait és eredményeit az

1.2 táblázat tartalmazza.

Az 1. modell esetében

- a nyersanyag fiatal lucerna, magas fehérjetartalommal,
- a kipréselés mértéke olyan, hogy a préselt lucerna nedvességtartalma megegyezik az előfonnyasztásnál beállóval (70 %).

Ez esetben 100 kg nyersanyagból előállított végtermék mennyisége 20 kg, amiből 13,3 kg lucernaliszt és 6,6 kg lépor; utóbbi fehérjetartalma 35 %, a liszt fehérjetartalma pedig 23,7 %, ami jóval meghaladja az I. osztályú lisztek határértékeit, ami 19 %.

A 2. modell esetében

- a nyersanyag jó-közepes lucerna,
- a préselés az előfonnyasztás mértékének (72 %) felel meg.

Ekkor 22,2 kg a 100 kg zöldanyagból nyerhető termék, amiből 17,3 kg az I. osztályú liszt és 4,9 kg a lépor.

A 3. modell esetében

- a nyersanyag azonos az előbbivel,
- a préselés mértéke pedig lényegesen nagyobb az előbbinél  $g = 0,757$ .

Ezzel a példával azt kívántuk bemutatni, hogy túlságosan nagyfokú préselés esetében a pogácsaszárítvány fehérjetartalma nem lesz megfelelő, az így kipréselt lucerna szenázs készítésre alkalmas.

A modellszámítások azt jelzik, hogy a lucerna kismértékű kipréselésével – vagyis 70...72 % nedvességtartalomra való beállításával – a jó- és közepes minőségű anyagból I. osztályú szárítvány készíthető.

Részletes modellszámításokkal kimutatható, hogy míg egy átlagos MGF szárító évi 3613 t liszt termelésével 6,5 millió Ft nyers jövedelemre tesz szert (Acsay, 1975.), addig hasonló feltételek mellett, de préseléses anyagellátással a szárítóüzem nyers jövedelme 8,0...8,9 millió forint lehet. Ebben a számításban a kipréselt lé értéke nem szerepel.

A préseléses lucernaszárításról gyakorlati tapasztalatok csak kis mértékben állnak rendelkezésünkre, ezek is főleg irodalmi forrásokból. A módszer bevezetésének hatása nagyon szerteágazó, alkalmasságáról részletes kísérletekkel szükséges meggyőződni.

## 2. Dobrendszerű zöldtakarmányszárítók elemzése és korszerűsítésük lehetőségei

A nyersolaj világpiaci ára 1973-tól kezdődően rohamosan növekedni kezdett, ami arra késztetett minden energiafogyasztó üzemet, hogy fogyasztását az ésszerű minimális értékre csökkentse. Hazánkban mintegy 300 db forgódobos zöldtakarmány szárító működik, amelyek évi tüzelőolajfogyasztása kb. 160.000 tonna. Célszerű tehát megvizsgálni a szárítók energiafogyasztásának összetevőit és ennek csökkentési lehetőségeit. Természetesen az olaj árának emelkedésével minden más energia és energiahordozó ára is megnövekedett. Zöldtakarmányszárítóink által fogyasztott évi  $90 \cdot 10^6$  kWó villamosenergia ezért hasonló figyelmet érdemel.



A dobszáritók energiafelhasználása és a száritók korszerűsítésének elemzése nem választható külön egymástól. A dobszáritók korszerűsítésére alapvetően az ad lehetőséget, hogy mind a száritás technológiája, mind pedig a száritóberendezés több évtizede történt első alkalmazása óta lényegében nem változott, kivéve a kiegészítő berendezéseket, mint pl. a tüzelőberendezés, a villamos kapcsolóberendezés és automatika, stb.

A száritási technológia és a berendezés elemezhető a kitűzött kettős szempont — a korszerűsítés és az energiatakarékosság — valamint az alábbiak alapján

- a dobszáritók fajlagos hőfelhasználásának elemzése,
- a száritódob működésének elemzése a termék minőségének szempontjából,
- a daráló-vonal elemzése,
- a daráló-pelletáló vonal elemzése,
- a használt száritóközeg hasznosítása lehetőségeinek elemzése,
- a száritó légtechn. — és tüzelő rendszerének elemzése.

A felsoroltakon kívül is léteznek az üzemmel kapcsolatos fejlesztési feladatok, mint például a nedvességszabályozás, fázisjavítás, földgázhasznosítás, stb. Ezek azonban vagy megoldás előtt állnak, vagy kívül esnek a száritóüzem belső berendezésének körén.

A *fajlagos hőfelhasználás* (a dobrendszerű) zöldtakarmány — gyorszáritóknál elméletileg az alábbi komponensekből tevődik össze:

1. A nedvesség elpárolgotatásához szükséges hőmennyiség $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on	586 kcal/kg
2. Az elpárolgotatott nedvesség gőzével elvitt hőtartalom $c_g/t_3 - t_1/$	45 "
3. A száritóközeg által felvitt hő $L'c_g/t_3 - t_1/$	72 "
4. A tüzelési és hígító levegő páratartalma által elvitt hő $L'x_1c_g/t_3 - t_1/$	1 "
5. A tüzelésből származó (nascens) gőz hőtartalma által elvitt hő (Ennek rejtett hőtartalma a „fűtőérték”-ben van figyelembevéve $L'x_2 - x_1/c_g/t_3 - t_1/$	4 "
6. A száritmány által elvitt hő $(G_2c_a/t_{a2} - t_{a1}/W)$	12 "

1 kg nedvesség „vesztésmentes” elpárolgotatásához szükséges hőmennyiség

(nettó fajlagos hőfelhaszn.) 720 kcal/kg

7. Tüzelési veszteség $0,03\text{ q'}$	24 "
8. Hővesztesség $0,07\text{ q'}$	56 "

Fajlagos hőfelhasználás ( $q'$ ) 800 kcal/kg

A számítást az alábbi feltételek mellett dolgoztuk ki:  $c_g = 0,445\text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $x_2 = 0,04\text{ kg/kg}$ ,  $G_2 = 2000\text{ kg/ó}$ ,  $c_a = 0,4\text{ kcal/kg }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{a1} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{a2} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $W = 4000\text{ kg/ó}$ ,  $t_3 = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $L' = 3\text{ kg lev/kg víz}$ ,  $x_1 = 0,01\text{ kg/kg}$ .

A fajlagos hőfelhasználás komponenseinek értékei természetesen nem abszolút érvényű számok, nagyságuk elsősorban az egymáshoz való arányuk értékelésére szolgál. Az egyes összetevők csökkentésére vagy részbeni értékesítésére az alábbi lehetőségek vannak:

A nedvesség elpárolgotatásához szükséges 586 kcal/kg hőmennyiség (1) nem befolyásolható a dobszáritó üzemének vagy szerkezetének módosításával. Felmerülhet azonban annak a lehetősége, hogy a párolgáshő által képviselt hőmennyiségnek — ami pl. az MGF típusnál  $4000 \times 586 = 2\,344\,000\text{ kcal/ó}$  — egy részét hőcsere útján hasznosítsuk. Ez elvileg többféle célból történhet



mint: a tüzelési levegő előmelegítése, melegvíz előállítás, abszorpciós hűtőberendezés működtetése, sűrítő-berendezés üzemeltetése, stb.

A hőcsere útján történő hasznosításra előnyös hatással van a szárítóközeg visszakeverése a rendszerbe, mert ezáltal a gőzkomponens kondenzációs hőmérséklete jelentősen növekszik.

A használt szárítóközegnek a rendszerbe való visszakeverése önmagában is javító hatással van a hőfelhasználásra, mert ezáltal csökken a szárítás fajlagos levegőszükséglete. Így kisebb lesz a szárítóközeg száraz- és gőzkomponense által elvitt hőmennyiség, vagyis a felsorolás 3. és 4. tétele. Elvileg ugyanezt a hatást eredményezi a szárítóközeg hőmérsékletének növelése az egységnyi levegő által elvitt vízmennyiség növekedése által ( $L' \doteq L/W \doteq 1/\Delta x$ )

A szárítóközeg kimenő ( $t_3$ ) hőmérsékletének csökkentése kedvező hatással van a felsorolás csaknem összes tételére. Megfordítva pedig: a távozó szárítóközeg hőmérsékletének növekedése jelentősen rontja a fajlagos hőfelhasználás értékét. Ilyen helyzet elsősorban a szárítmány túlszárítása esetén fordul elő, ami több egyéb okból is hátrányos, olyannyira, hogy felmerülhet a kétmenetes szárítás lehetősége is, amely esetben a dobszáritó csak egy nagyfokú előszáritást végezne; utóbbi esetben a túlszáritás veszélye kiküszöbölődik és egyben csökkenthető lenne a kimenő közeg ( $t_3$ ) hőfoka. Egyúttal reális lehetőség nyílna a szárítóközeg ( $t_2$ ) hőmérsékletének lényeges növelésére is.

A tüzelési veszteségek (7) nagysága —  $0,03 q'$  — nem eléggé tisztázott. Ennek csökkentése látszik jelenleg a legnehezebben járható megoldásnak. A hőveszteségek (8) meghatározására vonatkozóan pedig nem ismerünk vizsgálati eredményeket; ezért ezeket közvetlen becsléssel határoztuk meg.

A zöldtakarmány, szárító berendezések energiatakarékossági vizsgálata természetesen nem merülhet ki a szárítókészülék fajlagos hőfelhasználásának elemzésével. Gyakorlati eredmény ugyanis mindenképpen a berendezés egyes elemeinek valamilyen módosításával érhető el.

A *száritódob működése* alapvető fontosságú a termék minőségének szempontjából. Nem mindegy ugyanis, hogy a nyersanyag fehérjetartalma milyen állapotban konzerválódik a szárítmányban. Hosszú ideig általános nézet volt, hogy egy takarmány tápértékéről a laboratóriumi ún. beltartalmi vizsgálatok egyértelmű tájékoztatást nyújtanak. Különösen a nálunk igen nagy tömegben készülő erjesztett takarmányoknál okozott a gyakorlatban ez a szemlélet komoly megterheléseket. Idővel kimutatták, hogy a laboratóriumban magas fehérjetartalmúnak ítélt takarmány az állatok takarmányozása során nem hasznosul, mert bár fehérjetartalma nagy, ez valamilyen korábbi káros behatás következtében csak kis részben emészthető.

Ehhez hasonló a helyzet a zöldtakarmányok gyorszáritásánál is. Henk és Laube kimutatták, hogy dobszáritók esetében a laboratóriumi vizsgálatokkal 6,9 % nyersfehérje veszteség mutatható ki a száritott zöldtakarmánynál, akár normálisan — akár túlszáritott. Ezzel szemben etetési kísérletekkel a normálisan száritott zöldtakarmánynál 16,5 % veszteség állapítható meg, a túlszáritottnál pedig 28 %. A szerzők ennek okául azt hozzák fel, hogy a hőhatás következtében szignifikánsan csökken az essenciális aminosavak — az arginin, a lisin, a cistin és a triptofan — mennyisége. Legerősebb károsodás a lisintartalmat éri, ami a termék túlszáritásával fokozódik. Az elmondottak gyakorlatilag azt jelentik, hogy egy elsőosztályú, de túlszáritott lucernalisztt egy közepes minőségű renden készített lucernaszénának felel meg (a fehérjetartalmak alapján).

Általában normálisan száritott lucernalisztról beszélünk, ha a nedvességtartalma 10 %. Túlszáritás esetén ez nem ritkán 4 % alá is csökken. A túlszáritás fogalma és mértéke ezzel azonban nincs meghatározva. A száritóból átlagosan 10 % (vagy nagyobb) nedvességtartalommal kikerülő száritmány is túlszáritott abban az esetben, ha a szárrészek és a levélrészek a száritás folyamán nem részesültek egymástól eltérő száritóhatásban. A különböző száritóhatást igazolják Rettig-Dräger vizsgálatai, amelyek szerint az MGF és LKB típusú száritódobban a lucernaszecska levélrészei és szárrészei azonos ideig tartózkodnak. Ebből nyilvánvalóan következik, hogy a száritódobból kikerülő termék nedvességtartalma eltérő a szár- és levélrészek vonatkozásában. Nevezetesen, ha a termék közepes nedvességtartalma 10 %, akkor a szárrészek nedvessége ennél nagyobb, a levélrészeké ennél kisebb. Vagyis éppen a tápanyagokban leggazdagabb levélrészek túlszáritottak.



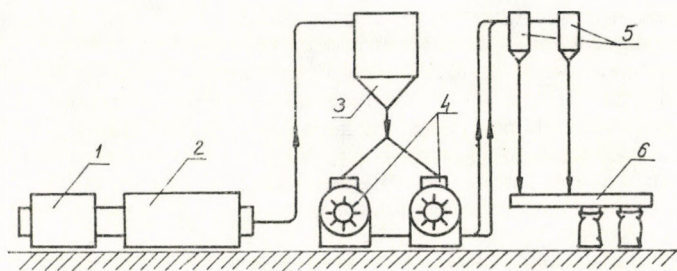
A szárítmány nedvességtartalom-eloszlását teljes részletességgel még nem vizsgálták a dob-száritóknál. Több részleges vizsgálat azonban azt mutatja, hogy jelentős különbség mutatkozik a lucernaliszt finom és durva frakciójának nedvességtartalma között.

Az egymástól teljesen függetlenül végzett vizsgálatok azt a következtetést látszanak igazolni, hogy dob-száritók esetében nem elegendő a szárítmány túlszáritásának a megakadályozására törekedni, ami eddig elsősorban energiatakarékossági szempont volt. A szárítási technológia olyan módosítását kell keresni, amely mellett a szárítmány nagyobbik hányadát képező levél-részek túlszáritása sem következik be.

A daráló-berendezés elemzésével a dob-száritó üzemek több hátrányos megoldása világítható meg. Ezeknél a berendezéseknél – pelletálás nélküli alaptechnológiát figyelembe véve – sorrendben az alábbi műveletek történnek:

- szárítás,
- anyagleválasztás,
- (finom)-őrlés,
- hűtés,
- zsákolás.

Ehhez szükséges gépi berendezések kapcsolási vázlatát az MGF típusú szárítónál az 1.2 ábra mutatja.



1.2. ábra

MGF szárítóberendezés technológiai részlete. 1 tüzelőberendezés, 2 szárítódob, 3 szecskaciklon, 4 daráló, 5 liszt ciklon, 6 zsákoló

A szárító-, az anyagleválasztó- az őrlő-, a hűtő- és a zsákoló berendezések puffertolás nélkül sorbakapcsolt gépegységek; együttes működésüket tehát mindenféle – a gyakorlatban adódó – teljesítmény ingadozás esetére biztosítani kell. E gépegységek igénybevétele elsősorban az átbocsátott anyag nedvességtartalmától és időegységre vonatkozó mennyiségtől függ. Utóbbi szélső értékei MGF szárítónál 1000. . .2000 kg/ó. A közepes nedvességtartalom pedig az őrlők előtt kb. 4...18 %. A mennyiségi ingadozásokhoz a pneumatikus rendszer jól igazodik, mert mind az anyagleválasztó ciklonban, mind pedig a hűtőrendszerben az anyagszállítás ún. keverési aránya 0,2 érték körül van. A mennyiségi ingadozások miatt azonban az őrlőberendezéseket a maximális anyagátbocsátásra kell méretezni. Még ez a teljesítmény is legalább megkétszerezendő, a szárítmány nedvességtartalma (esetleges) ingadozásai miatt.

Egy olyan lucernaszecsksa-száritmánynak a fajlagos őrlési szükséglete, amelyben mind a levél-, mint a szárrészek nedvességtartalma 10 %, 15 kW/t-ra becsülhető, 5 mm esőőrlőrosta alkal-



mazása esetén. Ezzel a max. 2 t/ó teljesítményű MGF szárító 30 kW beépített őrlőteljesítményt igényelne. A valóságban 2 db őrlő van beépítve egyenként 45 kW-os motorral, valamint 2 db pneumatikus hűtő, egyenként 15 kW-os motorral. Így az őrlők és hűtők együttes beépített motorteljesítmény 120 kW.

A hűtőrendszer ventilátorainak adatai ( $V = 10\,700\text{ m}^3/\text{ó}$ ,  $\Delta p = 260\text{ mm v.o.}$ ,  $N = 15\text{ kW}$ ) alapján valószínűsíthető, hogy az egyik hűtőrendszer főleg, mind az őrlők működése, mind pedig a szárítmány hűtése szempontjából. Kettő szerint termények őrlésénél  $V_1 = 120\text{ G}_a/\gamma_a\text{ m}^3/\text{ó}$  légmennyiség szükséges.

Esetünkben  $G_a = 2000\text{ kg/ó}$  és  $\gamma_a = 100\text{ kg/m}^3$  értékkel számolva a két őrlőhöz szükséges légmennyiség  $V_1 = 2400\text{ m}^3/\text{ó}$ .

A szárítmány hűtése szempontjából is túlméretezett a hűtőrendszer, mert a pneumatikus hűtőben nem adiabetikus jellegű nedves hőcsere bonyolódik le, hanem közelítően izoterm, mivel a szárítmányból elpárolgó 1...2 százaléknyi víz párolgáshőjét a szárítmány (és nem a levegő-) hőtartalma fedezi. Emellett a hűtőlevegő párafelvétele (egyetlen hűtőrendszert feltételezve)  $\Delta x = 3...4\text{ gr/kg}$  értékű.

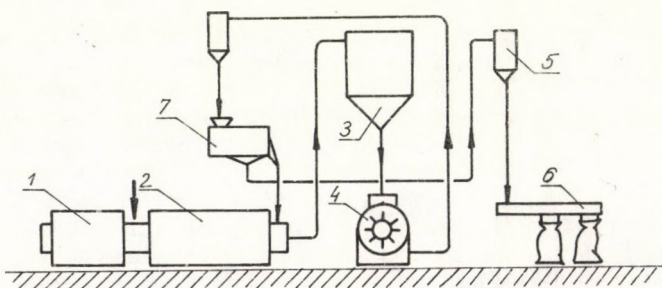
A fentiek alapján az őrlő-berendezésnél minimális módosításként az egyik pneumatikus hűtő teljes kiiktatásának a megvalósítása javasolható, a megmaradó hűtőrendszer mindkét őrlőre való rákapcsolása mellett.

Amint az előzőekből kitűnik, a dobszáritóknál nagy a valószínűsége annak, hogy 10 % közepes nedvességtartalomra megszáritott termékben a levélrészek tápanyagtartalma károsodik. Az őrlőberendezések viszont csak ilyen vagy ennél kisebb terméknedvesség mellett működnek kielégítően. Az egymással összekapcsolt két technológiai részegység – a szárító és az őrlő – megfelelő működésének feltételei tehát egymásnak ellentmondóak.

Ez úgy volna kiküszöbölhető, ha a szárítóban csak kb. 25 % közepes nedvességig szárítanánk a lucernát, amiből a 10...14 % nedvességtartalmú levélrészeket kiszitálnánk és a nedves szár-  
részeket pedig egy utószáritóban szárítanánk készre és így őrlőlnék meg. Ezzel a módszerrel

- növekedne a szárítóüzem teljesítménye,
- kiküszöbölést nyerne a levélrészek károsodása,
- lényegesen csökkenne az őrlőteljesítmény szükséglet,
- csökkenne a szárítás fajlagos hőfelhasználása.

Az utószáritásos megoldás hátrányaként a viszonylag jelentős beruházási költség és a szárítóüzem bonyolultságának növelése hozható fel. E hátrányok nélkül képes azonban biztosítani a felsorolt előnyöket az 1.3 ábrán szemléltetett eljárás (AA-835 sz. magyar szabadalom.).



1.3 ábra

Körfolyamú dobszáritó technológiai vázlata. 1 tüzelőberendezés, 2 szárítódob, 3 szecskaciklon, 4 daráló, 5 liszt ciklon, 6 zsákoló, 7 szeparáló készülék.



Ennél a javasolt megoldásnál a szárítódobban előszárított lucernaszeccsa egy kis teljesítményű, de nagy áteresztőképességű őrlőbe kerül (pl. nagy lyukméretű rostával ellátott kalapácsos malom, vagy rosta nélküli daráló), ahol a száraz levélrészek aprítása megtörténik. Ez utóbbit szeparátor választja el a nedvesebb szárrészekről és továbbítja a zsákolóberendezés felé. A szeparátorból kikerülő nedves szárrészek a szárítódobba vannak visszavezetve. A doból ismételt kikerülő szárész törmelékek a darálót már nem terhelik túl.

Mind a körfolyamatú szárítás vonatkozásában, mind pedig ettől függetlenül szükségesnek látszik felülvizsgálni az őrlemény finomságával és szemcseeloszlásával összefüggő követelményeket. Különösen akkor, ha a szárítóberendezés pelletálóval összekapcsoltan működik, szükségtennek látszik a termék finom-őrlése. Az őrlőrosták lyukbőségének növelésével jelentősen csökkenthető az aprítási energia.

*Daráló és pelletáló vonal együttes alkalmazása* a zöldtakarmány szárító üzemek technológiai fejlesztésének egyik lépcsőjét jelentette. A pelletált végtermék előnyei ma már közismertek:

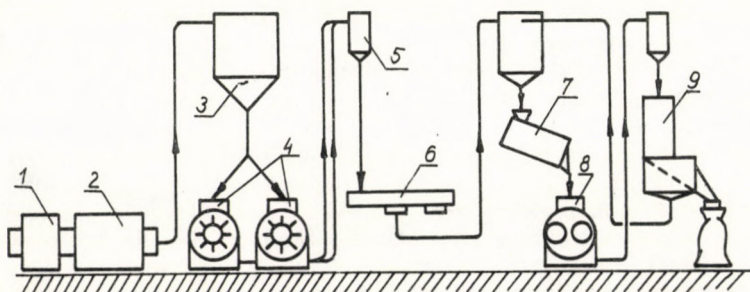
- ömlesztve szállítható, porzásmentesen,
- kisebb helyen tárolható, mert amíg a lucernaliszt térfogatsúlya  $200...400 \text{ kg/m}^3$ , addig egy 10 mm átmérőjű lucernaliszt-pellet térfogatsúlya  $500...600 \text{ kg/m}^3$ ,
- hosszabb tárolás alatt a pelletben kisebbek a karotinvesztések mint a lisztben,
- a pelletálás során keletkező hőhatás következtében egyes tápanyagok emészthetősége növekszik,
- kiküszöböli a túlszáritásból származó raktártüzek veszélyét (az izzó szemcséket az őrlés nem oltja ki, de a pelletálás igen).

A felsorolt előnyök elfogadhatóvá teszik:

- a pelletáló berendezések magas beruházási költségét,
- főleg a prészerszámok kopásából származó viszonylag magas állag-fenntartási költségeket,
- azt, hogy a szárítóüzem lényegesen bonyolultabbá válik, ami növeli a kezelőkkel szemben támasztott követelményeket,
- hogy, a pelletálás fajlagos energiaszükséglete  $20...40 \text{ kWó/t}$ , a liszt szemcseméretétől és a matrica furatától függően.

A (pelletáló nélküli) lisztkészítő üzemből kikerülő lucernaliszt takarmánykeverő üzemi feldolgozásra általában minden további előkészítés nélkül felhasználható. Az üzemi fejlesztések során a pelletáló gépet általában ilyen komplett lisztkészítő üzemhez kapcsolják. (1.4. ábra).

A pelletált zöldliszt azonban nem késztermék sem a takarmányozás-, sem pedig a takarmánykeverő üzemek számára. A takarmánykeverőkben a pelletet lisztté kell őrölni és csak így keverhető a tápokhoz. Ennélfogva az őrlemény szemcsefinomsága a takarmánykeverőben történő pellet-őrlés alkalmával tetszőlegesen beállítható. Másszóval nem szükséges a pelletálásra kerülő zöldtakarmány finom őrleése, csak olyan mértékben, amennyire a pelletáló teljesítménye megkívánja.



1.4. ábra

Pelletáló gépsor kapcsolása lisztkészítő célgéppel. 1 tüzelőberendezés, 2 szárítódob, 3 szecskacikon, 4 daráló, 5 lisztciklon, 6 zsákoló, 7 kondicionáló, 8 pelletáló, 9 hűtő



Ilyen irányú kísérletek szükségesek. Kísérleteket igényel továbbá az is, hogy megfelelő présgép alkalmazásával milyen feltételek esetén mellőzhető teljes mértékben a lucernaszeccsa pelletálás előtti őrlése, annál is inkább, mert fűfélék esetében ez teljesen megoldott.

Pelletáló gépsornak meglévő lucernalisztkészítő üzemhez való kapcsolása rendszerint további jelentős energiapazarlással jár. A lisztüzemben lehűtött termékhez ugyanis – amelynek nedvességtartalma a hűtés során 1,5...2,5 %-al csökken – a pelletálás előtti kondicionálás során újra 3...4 % vizet kell adni, majd az anyag a pelletálóban ismét 80 °C fölé hevül. Tehát mind a pelletálás előtti hűtés, mind pedig az ún. készre-szárítás fölösleges.

A használt szárítóközeg hasznosítása visszavezetéssel és hőcserével történhet. A használt szárítóközegnek az eredeti állapotú bemenő szárítóközeghez való visszakeverése általában jelentős teljesítménycsökkenést eredményez; ugyanakkor a fajlagos hőfelhasználás változatlan marad. Más helyzet alakul ki azonban, ha a visszakeveréssel előállított bemenő szárítóközeg hőmérsékletét a visszakeveréssel nem csökkentjük.

Részletes modellszámításokkal kimutatható, hogy a használt szárítóközeg megfelelő visszakeverésével jó esetben is csak 5...10 %-al javítható a fajlagos hőfelhasználás; a szárító teljesítménye pedig ugyancsak kis mértékben – 5...6%-al – növelhető.

Dobszáritó üzemeknél hőcserélőt vagy a szárítóközeg előmelegítésére, vagy valamely más fogyasztó hőellátására alkalmazhatunk. A szárítóközeg előmelegítése esetén gáz-gáz hőcserélő jöhet számításba, vagyis a szárítóból kilépő szárítóközeg gőztartalmára mint kondenzálódó közegre a hőcsere során nem számíthatunk. Ilyenkör tehát a szárítóközeg által elszállított vízmennyiség párolgási hőtartalma nem hasznosítható. Előnyösebbek a körülmények, ha a hőcserével meleg vizet kell előállítani, – abszorpciós hűtőgépet lehet üzemeltetni, vagy ami a legelőnyösebbnek látszik: vácuum bepárlót lehet üzemeltetni lucernalé sűrítésére. Ezekben az esetekben a dobszáritóból távozó levegő gőzének hőtartalma jelentős mértékben hasznosítható.

A hőcserélők általános méretezési bizonytalansága, valamint a szokatlan alkalmazási körülmények miatt a hőcserélős és légvisszavezetési hőhasznosítási megoldások minden részletre kiterjedő előkísérleteket igényelnek.

A dobszáritók légtechnikai és tüzelési rendszerének elemzését nehezíti az a körülmény, hogy – bár léteznek a dobszáritókkal kapcsolatban részletes üzemi vizsgálatok – egyes fő jellemzőket nem ismerünk kielégítő pontossággal. Ilyenek pl. a dobszáritók fajlagos hőfelhasználása, a szállított légmennyiség, ennek hőfoka és nedvességtartalma.

A szárítóközeg hőmérsékletének mérése elsősorban a dobba belépő és kilépő szárítóközeg esetében fontos. Itt a mérést nemcsak a sugárzó hő befolyása és a mérési keresztmetszetekben a hőfokértékek eltérése zavarja; jelentősen befolyásolja az üzemi mérések értékét az a körülmény, hogy a dobba bemenő szárítóközeg környezeti levegővel hígul fel a nedvesanyag-adagolón és a dob végfalfaltömítésén keresztül. Utóbbi a dobból kilépő közeg hőmérsékletét is módosítja. Ezek a körülmények azonban nem elsősorban méréstechnikai szempontból hátrányosak, hanem elönytelenek az üzem gazdaságossága szempontjából is. Amint a fajlagos hőfelhasználás előző elemzéséből látható ennek több komponense egyenesen arányos az L/W fajlagos levegőfelhasználással. A környezeti levegő beáramlása emellett növeli a főventillátor energiafelhasználását is.

Az előbbiekből szempontjából ugyancsak fontos volna a főventillátor által szállított légmennyiség pontos ismerete. Erre azonban jelenlegi méréstechnikai ellátottságunk mellett nincsen mód, mert nem rendelkezünk megfelelő mérőkészülékkel a szállított nagyhőfokú levegő állapotának méréséhez. A pontos légállapotmérés hiánya miatt nincs mód a szárítóberendezés fajlagos hőfelhasználásának kontrolljára sem. Ez utóbbi azonban feltétlenül szükséges volna, mert a súlymérésen alapuló mérés igen nagy hibát eredményezhet. Az ilyen alapon kimutatott 800 kcal/kg például 700 és 1000 között bármilyen értéket felvehet a valóságban.

A dobszáritók nyitott és szívott tüzelési és légtechnikai rendszere az említett hátrányokon kívül azzal az előnnyel jár, hogy a tüzelőberendezés üzem közben jobban ellenőrizhető. Ez a



körülmény még annak az előnynek az elvesztését is indokoltta teheti, hogy nyomott rendszerű berendezés esetén a főventillátor hajtásához kb. fele akkora energia szükséges.

A távlati szárítófejlesztés szempontjából figyelmet érdemel a gázturbinás energiaellátás. Különösen figyelemre méltó, hogy amíg a kemencék tüztérterhelése  $1...5 \cdot 10^6$  kcal/m<sup>3</sup>ó, addig egy gázturbina égéskamránál ez  $140...160 \cdot 10^6$  kcal/m<sup>3</sup>ó értékű. A gázturbinás energiaellátó berendezés ezen kívül egészen újszerű szárítási technológiák kialakítására is lehetőséget nyújt.

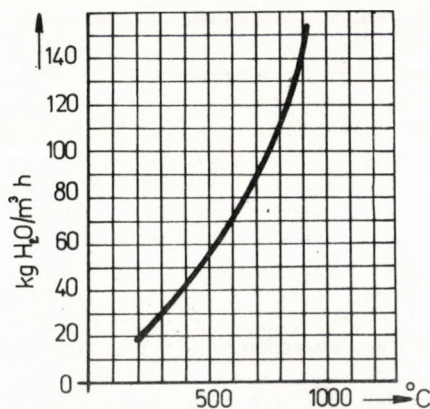
### 3. Szeparáló szárító alkalmazása zöldtakarmányok szárítására

A szeparáló rendszerű szárítás lényege, hogy a beadagolt nedves anyag már száradt szemcséi a szárítóközeg áramlása következtében automatikusan távoznak a szárítótérből. Legegyszerűbb változata az ún. Aradi-Ribiánszky féle lebegtető szárító. Ennél a szárítóközeg nemcsak szárítóhatást fejt ki és a szeparálást látja el, hanem a száradó töltet lebegtetését is végzi. Fejlesztett típusánál a töltet lebegtetését egy röpitőszerkezet, az ún. recirkulációs adagoló látja el. Ezáltal egy belső körfolyamú esőrétegű szeparáló szárítónak tekinthető.

A recirkulációs adagoló a száradó szecskát kismértékben aprítja is. Ennek következtében a töltet szemcséinek fajlagos felülete többszörösére növekszik. A megnövelt felület közvetlen hatással van a hő- és nedvességátadás körülményeire és ezáltal a száradás sebességére, szerkezeti szempontból pedig a szárító készülék méreteire.

H. Motek közli a dobszáritók fajlagos térfogati vízpárolgató teljesítményének változását a belépő szárítóközeg hőmérsékletének függvényében (1.5 ábra). Kísérletei öntődei homok szárítására vonatkoznak. A diagramról leolvasható, hogy a maximális vízpárolgató teljesítmény 900 C° hőmérsékletű szárítóközeg mellett 150 kg/m<sup>3</sup>ó. Lucerna szárításánál ahol a szárítóközeg hőmérséklete nagyobb, de a szárítmány szemcsemérete is nagyobb, ez az érték 130...150 kg/m<sup>3</sup>ó; Egy MGF típusú szárítódob térfogata ugyanis kb. 30 m<sup>3</sup> és vízpárolgató teljesítménye 4000...4500 kg/ó.

A recirkulációs adagolóval működő szeparáló szárító készülék optimalizálási munkái még folyamatban vannak. Az eddig maximálisan alkalmazott 430 C° értékű szárítóközeg-hőmérséklet mellett a fajlagos vízpárolgató teljesítmény 180 kg/m<sup>3</sup>ó.



1.5 ábra  
Szárítódob fajlagos vízpárolgató teljesítménye (Motek)



Ez az eredmény még előszárító cső nélkül mutatkozott.

A körfolyamú szeparáló szárító lényegében két sorbakapcsolt szárítóberendezés, amelyek közül az egyik szárítót a szállítócső képezi, a másikat pedig a körfolyamú lebegtető torony. Mivel e kettő között az anyag számára puffertárolás nincs, ezért a két szárító szakasz összehangolt működtetése lényeges fontosságú.

A szeparáló toronyban tartozkodó száradó anyagban léteznek az egészen nedves szemcséktől az egészen szárazakig mindenféle nedvességu szemcsék. Ez a heterogén halmaz már nem tehető ki nagyhőmérsékletű szárítóközeg hőhatásának. Tapasztalatunk szerint a különféle – lebegtető szárítóban szárított – anyagok igen érzékenyen jelzik azt a hőmérséklet határt, amely fölé a szárítóközeg hőmérséklete a két szárító szakasz határvonalán nem emelkedhet. A lebegtető szárító méretezésénél tehát fontossággal bír a szárítandó anyagok ún. hőmérséklet-tűrésének vizsgálata, ami célszerűen differenciál-thermoanalízissel végezhető.

Részletes mérések nélkül is mondható, hogy az előszárító cső kedvező hatásfokú szárítóhatást létesít. És bár a szárítócső elején általában a gyakorlatilag alkalmazható hőmérséklet tetszőlegesen magas lehet, akkor érhető el optimális teljesítmény, ha emellett a cső végén a száradó anyag hőmérséklet-tűrésének megfelelő hőfokérték alakul ki. Optimális szárítócső hosszúság mellett akkor érhető el kedvező fajlagos hőfelhasználási érték, ha ez a szárító második szakaszában is kielégítő. Ez utóbbira vonatkozó kísérleti és optimalizációs munkák részben befejeződtek. A körfolyamú lebegtető toronynál a fajlagos hőfelhasználás értéke 300...400 C° hőmérséklet mellett 800...900 kcal/kg értéken van, szemben a kiindulási állapot képező lebegtető szárítóval, amelynél a fajlagos hőfelhasználás 1400...1600 kcal/kg értéket mutatott. Az előszárító cső optimalizációs munkái a soron következő feladatot képezik.

Az előszárítóval ellátott szeparáló szárító nagylaborméretű kísérleti példányával folyamatban lévő kutatásoktól az alábbi előnyök megvalósítását várjuk:

- A berendezés szeparáló hatása következtében kiküszöbölést nyer az a dobszáritóknál mutatózó hátrány, hogy még a normális nedvességtartalmú szárítmálynál is túlszáritottak a levélrészek. Mint ismeretes, az ilyen túlszáritás 16...28 % csökkenést okoz a szárítmány fehérjetartalmának emészthetőségében;
- A fajlagos térfogati vízpárologtató teljesítmény jelentősen megnövekszik. A dobszáritóknál mutatózó 130...150 kg/m<sup>3</sup> ó értékkel szemben a szeparáló szárítóval célul tűzhető ki ennek az értéknek közel kétszerese, ami az eddigi kísérletek alapján is valószínűsíthető. Ezáltal az esőrétegu szárítóberendezés fele akkora méretű lehet mint egy azonos teljesítményű dobszáritó.
- A fajlagos hőfelhasználás értéke a dobszáritóknál mutatózó alá csökkenthető. Ez elméletileg azzal magyarázható, hogy esetünkben a száradó töltet nagy fajlagos felületű előaprított halmaz, amelynél kedvezőek a nedves hőcsere viszonyai; továbbá kisebb a szárítógép lehűtő felülete; valamint a berendezés zárt rendszerű, miáltal nemkívánatos hígító levegő beáramlása kizárt. Gyakorlatilag pedig: az eddigi kísérleteknél a fajlagos hőfelhasználás 860 kcal/kg érték körülinek mutatózott, de még kisméretű berendezésnél, – előszárító cső nélkül – és alacsony hőmérsékleten.
- A berendezés túlnyomásos rendszerű formában szélesebb körben alkalmazható. Zárt rendszerű kivitelben inert gáz töltettel oxidációra különösen kényes anyagok szárítására is használható.

#### 4. Lucernaké tartósítása szárításos módszerekkel

A növényi sejtekből ill. levelekből kiperéselt lé különféle feldolgozásának és porításának laboratóriumi módszerei régóta ismeretesek. Mivel az így kinyert fehérjekoncentrátum különféle finomítási eljárásokkal emberi táplálék céljaira is alkalmas – különösen az utóbbi évtizedekben – rendkívül bőséges irodalom tárgyalja a legkülönbébb növényekből préselés útján kinyert



fehérjedús levelek feldolgozását „levélfehérjévé”. A lucernából való lékinyerést először az USA-ban üzemésítették és ugyanitt különféle lucerna léporok vannak forgalomban, mint DEHY-40, X-PRO és PROWAN. A DEHY-40 egyes fontosabb összetevői: fehérje: 40 %, rost: 3 %, karotin: 570 mg/kg, xantifill: 880 mg/kg. Ezeket a nagy fehérjetartalmú porokat előállító üzemrészeket egyes helyeken a lucerna-gyorskiszárítók mellé telepítik és a friss lucernát előfonnyasztás helyett részlegesen kipréselik.

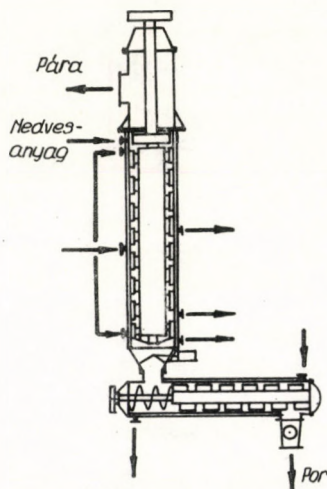
A lucernalé nemcsak porítva hasznosítható, hanem lésűrítmény formájában és közvetlenül is. A közvetlen felhasználásnak azonban csak korlátozott jelentősége lehet, mivel a lucernalé igen gyorsan romló nyersanyag. Lésűrítmény előállítása esetén azonban nem lényegesen kevesebb az a vízmennyiség – a porításhoz képest – amit a léből el kell párologtatni. Amíg például 1000 kg léből 889 kg vizet kell elpárologtatni porításkor, addig 40 %-os lésűrítmény esetében 833 kg vizet-, és 50%-os víztartalmú lésűrítmény esetében 800 kg vizet kell eltávolítani.

Lésűrítmény gyártó technológia létesítésének elsősorban ott van létjogosultsága, ahol megfelelő mennyiségű gőz vagy melegvíz amúgy is rendelkezésre áll. A bepárló technológia még ott is előnyösen alkalmazható, ahol a lucernaliszt készítő üzem hulladékhőjének hasznosítására megfelelő berendezés létesül.

A szárítási módszerek egyaránt előtérbe kerülnek a teljes lé feldolgozásánál, a gőzöléssel vagy szeparálással kinyert koncentrátum tartósításánál, mind pedig az ún. barna-lé esetében. Ezeknek a termékeknek a szárítási tartósításához ezidő szerint a legalkalmasabb berendezések:

- a filmbepárló szárító kombináció,
- porlasztó szárító,
- az inert töltésező géjzír és fluidizációs szárító,
- a szemcsebevonat készítő géjzír- és fluidizációs berendezés.

A filmbepárló-szárító tulajdonképpen egy filmbepárló és egy vacuum dobszárító kombinációja (1.6. ábra).



1.6 ábra

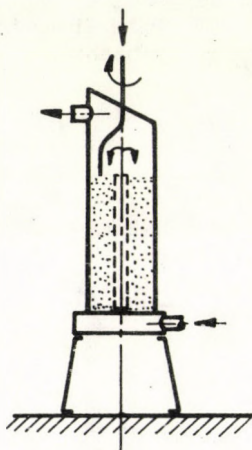
Filmbepárló-szárító, szuszpenziók porítására



Mind a bepárlónál, mind a porító szakasznál gőz vagy melegvíz fűtés alkalmazandó. Mivel a szárítótér üzem közben vacuum alatt áll, a termék károsodása a lehető legkisebb. A függőleges bepárló szakasz felületegységre vonatkoztatott vízpárolgató teljesítménye nagy, a vízszintes szárítószakaszban azonban ez az érték  $10 \text{ kg/m}^2$ -ó körüli. Ez a berendezés igen előnyösen alkalmazható lucernalé porítására abban az esetben, ha a fűtése a dobszáritóból távozó szárítóközzel megoldható. A bepárló- és a bepárló-száritó üzemek hátránya azonban a nagy beruházási költségigény.

A porlasztó szárítókban mint pl. a NIRO és ANHYDRO, a betáplált szuszpenzió egymenetben porrá szárítható. Mivel pedig füstgázokkal is üzemeltethetőek, a fajlagos hőfelhasználásuk nem haladja meg a  $1000 \text{ kcal/kg}$  értéket. A szárítóközzeg hőmérséklete azonban nem fokozható tetszőlegesen, valamint a szárító-tér szilárd szemcsekoncentrációja is kicsi; ezért ezeknek a szárítóknak igen nagy az építési mérete, ami közvetlen hatással van a létesítési költségekre.

Egyes irodalmi források szerint az inert-töltetes fluidizációs rendszerű porlasztó szárítók fajlagos térfogati vízpárolgató teljesítménye két nagyságrenddel jobb, mint a hagyományos porlasztó szárítóké. Ez egyben két nagyságrenddel kisebb készülék méretet is jelent. Saját kísérleteink is – amelyeket inert töltetes gejzír szárítóval végeztünk – ezt igazolják. Különböző körülmények esetén  $200 \dots 800 \text{ kg/m}^3$ -ó értékű volt a kísérleti készülék fajlagos vízpárolgató teljesítménye.



1.7 ábra  
Inert töltetes gejzír szárító, szuszpenziók porítására

A készülék (1.7 ábra) egy betétcsöves gejzír szárító, amelynél töltétként műanyaggyöngyöket alkalmaztunk. A porítandó szuszpenziót egy forgó adagoló csövön keresztül a csúszóréteg tetjére adagoltuk. A száradó anyag a töltet-göngyök felületére elkenődve igen nagy felületet biztosít a nedves hőcsere számára. Az egyes száradó szemcsék egy gejzír-periódusnak megfelelő út megtétele után megszáradnak. Eközben a göngyök ütközése és surlódása következtében a száritmány apró szemcsék formájában lepattogzik a göngyörről. A száraz anyagszemcséket a szárítóközzel kiválasztja a szárítótérből és elszállítja. A készülék tehát működése alapján inert



töltetes szeparáló rendszerű szuszpenzió szárító. A szeparáló hatás automatikusan biztosítja, hogy nem történik túlszáritás.

Jó eredménnyel végezhető a lucernalé tartósítása gejzír szárítóban olyan esetben is, amikor a lucernalé valamilyen takarmánydarához keverhető. Mivel a lucernalé – főleg besűrűsödve – rendkívüli módon ragad, ezért az a módszer, hogy a darát a lucernalével előzetesen összekeverve szárítsuk meg, nem vezetett kielégítő eredményre. Abban az esetben, ha a darát (pl. búzadara) gejzír készülékbe helyezzük és a lucernalét a csúszórétteg tetejére porlasztva meleg levegővel egyidejűleg száríthatást is kifejtünk, a lucernalé nemcsak megszárad, hanem egyenletes rétegben a takarmányszemcsék felületére tapad; a takarmány szemcsék rövid idő alatt élénk zöld színűvé válnak a bevonattól. A bevonat vastagságának megválasztásával magas lucernataralmú takarmánykoncentrátum állítható elő.

## 5. Összefoglalás

A zöldtakarmányok gyorsszárításának szerteágazó fejlesztési lehetőségei közül a nyersanyag előkészítés technológiájának új alapokra való helyezésével, a dobszáritók korszerűsítésével, valamint újabb rendszerű szárítók kialakításával és alkalmazásának előnyeivel foglalkozunk. Ez egyben kutatásunk jelenlegi és további irányát is kijelöli.

A dobszáritókkal ellátott lisztkészítő üzemek a jelen gazdasági körülmények között is nem kis mértékben nyereségesek. Az össztermelés átlagminősége azonban többnyire alig haladja meg a III. osztályú szintet. Ennek alapvető oka az, hogy az előfonnyasztás alkalmával a nyersanyag nedvességtartalma nem mindig állítható be a kívánt értékre. Egy szárítóüzem éves termelési értékének összetevőit elemezve megállapítható, hogy ha a nyersanyag nedvességtartalma az idény folyamán egy átlag (pl. 71 %) körül erősen ingadozik, akkor a termelési érték lényegesen kisebb lesz, mintha a nedvességtartalom egész évben ennek az átlagnak megfelelő lenne. Utóbbi azonban csak a préseléses technológia alkalmazásával valósítható meg.

Modellszámításokkal igazolható, hogy a lucerna kismértékű kipréselésével – vagyis 70...72 % nedvességtartalomra való beállításával – még közepes minőségű nyersanyagból is I. osztályú szárítmány készíthető. Ugyanezen számítások szerint az egységes anyagminőségből következően egy MGF szárítóüzem jövedelme kb. 30 %-al növelhető.

A betakarítási technológia javítása mellett időszerűvé vált a dobszáritó berendezések felülvizsgálata is. Ez nemcsak energetikai szempontok szerint célszerű, hanem konstrukciós és technológiai vonatkozásokban is. A berendezéseket részletesen elemeztük:

- a dobszáritók fajlagos hőfelhasználása,
- a szárítódob működése és a termék minősége,
- a daráló vonal,
- a daráló-pelletáló vonal,
- a használt szárítóközeg további hasznosítása,
- a szárító légtechnikai és tüzelési rendszere

szempontjából. Ezekből kimutattuk, hogy:

- a szárítódob nem szeparálja a száradó terméket, amiből részleges túlszáritás áll elő,
- a daráló-hűtő vonal egyes részletei szükségtelenül túlméretezettek,
- a daráló-pelletáló vonalban szükségtelenül ellentétes műveletek valósulnak meg,
- a használt szárítóközeg visszakeveréssel csak kismértékű előnyöket biztosít, de kondenzációs üzemben előnyösen használható.

A dobszáritó berendezés technológiai hiányosságai megfelelő módosításokkal kiküszöbölhetők; a szárítódob szeparáló hatásából származó hátrány azonban csak a szárítási technológia teljes megváltoztatásával lehetséges. Az erre vonatkozó javaslat szerint a szárító dobban kb. 25 %-ig előszáritott lucernaszecsksa egy nagy áteresztőképességű örlőbe (pl.: rost nélküli darálóba) kerül, ahol a száraz levélrészek aprítása megtörténik. Ez utóbbit szeparátor választja



el a nedvesebb szárrészekről és továbbítja a raktározás felé. A szeparátorból kikerülő nedves szárrészek a szárítódobba vannak visszavezetve. A doból ismételt kikerülő szárász törmelekek a darálót már nem terhelik túl, és ismételt aprítás után a levélörleménnyel együtt távoznak a rendszerből. Ezzel a módszerrel kiküszöbölést nyer a dobszáritóknál mutatkozó részleges túlszáritás.

A hazai zöldtakarmány (gyors-) száritási igények zöme dobrendszerű száritóberendezésekkel már kielégítést nyert; Ennek ellenére részletes kutatási-fejlesztési programot irányoztunk elő új rendszerű lucernaszáritó berendezés megvalósítására. Ez a belső körfolyamú esőrétegű szeparáló száritó alkalmassága esetén kielégítheti az újabban felmerülő igényeket és a használat során elévülő dobrendszerű berendezések helyébe léphet. Az esőrétegű szeparáló száritótól a nagylaborméretű kísérleti példányával végzett és folyamatban lévő kutatások alapján az alábbi előnyök ill. eredmények várhatók:

- A berendezés szeparáló hatása következtében kiküszöbölést nyer a dobszáritóknál mutatkozó részleges túlszáritás. Mint ismeretes az ilyen túlszáritás 16...28 % csökkenést okoz a száritmány fehérjetartalmának emészthetőségében;
- A fajlagos térfogati vízpárolgató teljesítmény jelentősen megnövekszik. A dobszáritóknál mutatkozó 130...150 kg/m<sup>3</sup> értékkel szemben a szeparáló száritónál célul tűzhető ki ennek az értéknek közel kétszerese, ami az eddigi eredmények alapján is valószínűsíthető. Ezáltal az esőrétegű száritóberendezés fele akkora méretű lehet mint egy azonos teljesítményű dobszáritó.
- A fajlagos hőfelhasználás értéke a dobszáritóknál mutatkozó érték alá csökkenthető. Ez elméletileg azzal magyarázható, hogy esetünkben a száradó töltet nagy fajlagos felületű előaprított halmaz, amelynél kedvezőek a nedves hőcsere viszonyai; továbbá a száritóberendezés kisebb külső felülete miatt csökken a hőveszteség; valamint a berendezés zárt rendszerű, miáltal nemkívánatos hígító levegő beáramlása kizárt. Gyakorlatilag pedig: az eddigi kísérleteknél a fajlagos hőfelhasználás 860 kcal/kg érték körülnek mutatkozott, de még kisméretű berendezésnél, — előszáritó cső nélkül — és alacsony hőmérsékleten.
- A berendezés túlnyomásos rendszerű formában szélesebb körben alkalmazható.

A lucernaszecska kívánt nedvességtartalomra való állandó beállítása részleges préseléssel igen kedvező a szecskaszáritó üzem számára. A préselés és a préselésből nyerhető termékek többféleképpen hasznosíthatók, de ezek között a módszerek között egyre inkább előtérbe kerülnek a száritásos módszerek. Erre a célra ezidőszert legalkalmasabbnak vélt berendezések: a film-bepárló-száritó, a porlasztó száritók, az inert-töltéses gejzír száritó és a bevonatképző gejzír száritó.

A filmbepárló-száritók és a porlasztó száritók előnyei és hátrányai ismeretesek. Az inert-töltéses gejzír rendszerű kísérlet szuszpenzió-száritónál különféle körülmények esetén 200...800 kg/m<sup>3</sup> fajlagos vízpárolgató teljesítményt mértünk. Ez alátámasztja azt az irodalmi adatot, miszerint az inert-töltéses fluidizációs száritók teljesítménye két nagyságrenddel több mint a porlasztó száritóké.

A bevonatképző gejzír száritóval is jó eredménnyel végezhető a lucernalé tartósítása. Töltésként pl. búzadarát használva, a lucernalé nemcsak megszárad, hanem egyenletes rétegben a takarmányszemcsék felületére tapad; a takarmányszemcsék rövid tartózkodási idő alatt élénk zöld színűvé válnak a bevonattól. A bevonat vastagságának megválasztásával magas lucernatartalmú takarmánykoncentrátum állítható elő.



## IRODALOM

- ( 1 ) VARGA, J. — NOSTICZIUS, Á.-né. (1968.): Kísérletek növényi fehérje koncentrátumok előállítására. Mosonmagyaróvári Agrártudományi Főiskola Közleményei. Mosonmagyaróvár, XI. évf. I. 61-71.
- ( 2 ) SCHNEIDER, A. (1969): Untersuchungen über das Trocknungsverhalten von Luzerne und Zuckerrübenblatt in Einzelschichten und durchströmten Schüttungen. Wärme 69/3.
- ( 3 ) ARADI, E. (1970.): Szárítási technológiák és fejlesztési-kutatási feladatok felmérése. Vegyterv-MŰKKI tanulmány. Budapest.
- ( 4 ) ACSAY, F. — SZÜLE, Zs. (1971.): A lucernabetakarítás, lisztkészítés. Értesítő termelés-technológiák műszaki vizsgálatáról. MGI. Gödöllő.
- ( 5 ) ARADY, E. — VÁMOSI, J. (1972.): A Vörös Október MGTSZ. szarvasmarha-táp előállító üzemének kialakítása, Tanulmányterv.. Budapest.
- ( 6 ) AGROINFORM (1972): Levélfehérje koncentrátumok. Irodalm-gyűjtemény. Budapest.
- ( 7 ) AGROINFORM (1974): Zöldtakarmányok forrólevegős szárítása. Budapest.
- ( 8 ) ARADI, E. — ARADI, L. — PALLAI, Iné. (1973.): Takarmánygyártó és melléktermékfeldolgozó üzemágak létesítése a Vörös Október MGTSZ-ben. Tanulmányterv. Budapest.
- ( 9 ) MOTEK, H. (1974.): Der Trocknerbetrieb und seine Grundlagen. Aufbereitungstechnik, 74/12.
- (10) ARADI, E. (1974.): A forrólevegős gyorszáritók újabb technikai megoldásainak vizsgálata. ATEK témabeszámoló. Mosonmagyaróvár.
- (11) ARADI, E. VARGA, J. (1975.): Eljárás és berendezés hőre érzékeny anyagok, főként mezőgazdasági termékek szárítására. Magyar szabadalom. A-835 sz.
- (12) ARADI, E. — VAJK, J. (1975.): Koncentrált fehérjetakarmány előállítása lucerna préselé porítással. MGI-tanulmány, 4.43.43.627.55. sz. Gödöllő.
- (13) ARADI, E. Vajk, J. (1975.): Az energiafelhasználás csökkentésének lehetőségei a dobrendszertől zöldtakarmányszárítóknál. MGI tanulmány. Gödöllő. 4.43.43.992.45. sz.
- (14) VAJK, J. — FLIEG, J. (1976.): Az MA-60 forgódobos zöldtakarmány szárító és pelletáló prototípus üzemi vizsgálata. MGI témabeszámoló. Gödöllő.

- (15) ARADI, E. — BLICKLE, T. — MONOSTORI, E. — NÉMETH, J. — PALLAI, Iné. — VARGA, J. (1976.): Berendezés és eljárás anyagok gejzír rendszerű érintkeztetésére, ill. szárítására. Bejelentett szabadalom., MA-2801.
- (16) VARGA, J. — NOSTICZIUS, Áné. (1977.): Fehérjekoncentrátum előállítási és lékinyelési kísérletek. KGST-előadás. Mosonmagyaróvár, VI. 13-18.



## II. FEJEZET

ARADI EMIL

### ZÖLDTAKARMÁNY SZÁRÍTÁSI KÍSÉRLETEK LEBEGTETŐ ÉS ESŐRÉTEGŰ SZEPARÁLÓ SZÁRÍTÓVAL

#### BEVEZETÉS

Mindenekelőtt felmerül a kérdés, hogy szükséges-e a zöldtakarmányok (gyors-) szárításával kísérleti alapon foglalkozni. Az erre a célra világszerte alkalmazott dobszáritók a megfelelő betakarítási módszerrel párosítva ugyanis közismerten a legkevesebb veszteséget eredményezik a takarmány-tartósítási eljárások között; és egy ilyen szárító-üzem a legnehezebb közgazdasági körülmények mellett is jövedelmező lehet.

A betakarítási technológia oldaláról nézve ennek eredményességét jelentősen befolyásolja, hogy a takarmány előfonnyasztásával bekövetkező tápanyagveszteség egyensúlyban van-e a megtakarított tüzelőanyag értékével.

Úgy tudjuk, hogy 70 % nedvességtartalomra történő előfonnyasztás esetén a tápanyagveszteség minimális, a tüzelőanyag megtakarítás pedig jelentős. Csakhogy a kétmenetes betakarításnál a takarmány nedvességtartalma nem minden esetben állítható be 70 %-ra.

Az előfonnyasztás és betakarítás során fellépő veszteségekről nincsenek pontos adataink. Számszerű következtetésekre alkalmasak azonban pl. az alábbi adatok, amelyek egy gazdasági évben (1970.) gyártott lucernalisztek minőségi megoszlására vonatkoznak.

Egy gazdasági évben gyártott lucernalisztek minőségi megoszlása  
és átlagos fehérjetartalma

2.1. táblázat

Min. oszt.	Előírt feh. tartalom % (w=0)	Az össz. termelés minőségi megoszl. %	Közepes feh. tart. %	Arányos feh. tart. %
I.	22,0-	32,0	23	5,36
II.	20,0-21,9	28,0	21	5,88
III.	18,0-19,9	28,0	19	5,32
o.al	-17,9	12,0	17	2,04
Összesen:				20,60



Vagyis a gyártott lucernalisztek átlagos fehérjetartalma 20,6 % volt. Ugyanekkor a megtermelt lucernának a fehérjetartalma 23. . .27%-ra tehető; Ettől függően az előfyonnyasztási, betakarítási- és szárítási veszteséget a 2.2. táblázat szemlélteti.

**Betakarítási veszteségek számítása II. o. lucernaliszt készítése esetén a megtermelt fehérjetartalom függvényében**

**2.2. táblázat**

Megtermelt fehérje kg/q	Betakarított fehérje kg/q	Fehérje vesz. kg/q	Fehérje vesz. a termelés %-ában	Fehérje vesz. a betakarított menny. %-ában
23,0	20,6	2,4	10,4	11,6
24,0	20,6	3,4	14,2	16,5
25,0	20,6	4,4	17,6	21,3
26,0	20,6	5,4	20,8	26,2
27,0	20,6	6,4	23,7	31,1

Látható, hogy a veszteségek jelentősek és feltehetően mintegy 20. . .25%-al több fehérje volna előállítható egyenes betakarítás alkalmazásával. Hazai viszonyok mellett azonban ez csak a szecskaszárítással kombinált léporítással valósítható meg. A kiemelkedően magas fehérjetartalmú lucernalisztek előállítását ugyanis sem a hazai- sem a világgpiaci áralakulások nem ösztönzik.

A *szárítási technológia oldaláról nézve* sem problémamentes a kérdés. Újabb kutatások (Henk-Laube) szerint ugyanis míg a laboratóriumi vizsgálatoknál 6,9 % nyers-fehérje veszteség mutatható ki a szárított zöldtakarmánynál általában, – akár normálisan-, akár túlszártított – addig etetési kísérletekkel a normálisan szárított zöldtakarmánynál 16,5 % veszteség állapítható meg, a túlszártítottnál pedig 28 %. A szerzők ennek okául azt hozzák fel, hogy a hőhatás következtében szignifikánsan csökken az essenciális aminosavak – az arginin, a lisin, a cistin és a triptofan – mennyisége. Legerősebb károsodás a lisintartalmat éri, ami a termék túlszártásával fokozódik.

Általában normálisan szárított lucernalisztről beszélünk, ha nedvességtartalma 10-12 %. Túlszártítás esetén ez nem ritkán 6 % alá is csökken. A túlszártítás fogalma és mértéke ezzel azonban nincs meghatározva. Fől kell tételeznünk, hogy a szárítóból átlagosan 10. . .12 % nedvességtartalommal kikerülő szárítmány is túlszártított abban az esetben, ha a szárászékek és a levélrészek a szárítás folyamán nem részesültek egymástól eltérő száríthatásban. Márpedig ezt látszik bizonyítani Rettig-Drager vizsgálata, amely szerint az MGF típusú szárítódobban a lucernaszcuka levélrészai és szárászéke gyakorlatilag azonos ideig tartózkodnak. Ebből nyilvánvalóan következik, hogy a dobszártóból kikerülő termék nedvességtartalma eltérő a szár- és levélrészek vonatkozásában. Nevezetesen, ha a termék közepes nedvességtartalma 10 %, akkor a szárászékek nedvessége ennél nagyobb, a levélrészeké ennél kisebb. Vagyis éppen a tápanyagokban leggazdagabb levélrészek túlszártítottak.

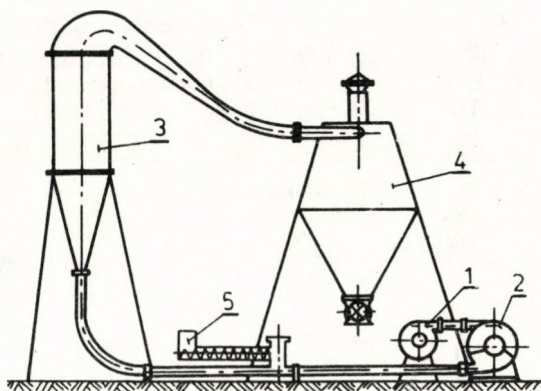
A kérdés megoldását nehezíti azonban, hogy a túlszártítás fogalmának ezidőszent nincs kísérletekkel alátámasztott meghatározása.



## 1. Lebegtető szárító hazai kialakítása és alkalmazása

Az első hazai kialakítású lebegtető szárítót a szakirodalom Aradi-Ribiánszky-féle lebegtető szárító néven ismerteti. Ennek funkcióképes nagylabor méretű példánya 1953-ban készült el. Földgáz-tüzelésű félüzemi méretű prototípusa 1955-től, olajtüzelésű típusa pedig 1956-tól üzemelt zöldtakarmányok szárításával (Alsórajk, Balatonnagyberek).

Korszerűsített, de működési elvében változatlan formáját konzervgyáraink alkalmazták 1965-ben paradicsomfeldolgozó vonalba illesztve; ezt követően a külkereskedelmi szerveink által exportált paradicsomfeldolgozó technológiai gépsor részét képezte a lebegtető szárító is. A Pécsi Keményítőgyár a konzervipari típust keményítő szárítására alkalmazta 1966-ban; a Phylaxia Vállalat pedig fokszálygártó üzemében szerelte fel 1967-ben. A berendezés vázlatát a 2.1 ábra szemlélteti.



2.1 ábra

Lebegtető szárító vázlat. 1 ventilátor, 2 léghevítő, 3 szárító torony, 4 ciklon, 5 adagoló

A ventilátor a környezetből beszívott levegőt a léghevítőbe továbbítja, ahonnan a 250...500 °C-ra felmelegített szárítóközeg előszárító csővezetéken jut a szárítótoronyba. A csővezetékbe csigás rendszerű adagoló juttatja a szárítandó terméket, amit az áramló szárítóközeg szállít tovább. A szárítótoronyban a szárítóközeg sebessége lecsökken annyira, hogy a még meg nem száradt anyagrészek visszahullanak és addig végzik örvénylő-lebegő mozgásukat, amíg megszáradva a torony kivezető csővén a ciklonba távoznak. Zöldtakarmányok szárításánál a szárítótorony funkcionális jelentősége abban van, hogy a tápanyagokban gazdag levélrészek előbb távoznak a szárítótérből, mint a nehezebb szárőrészek és ezáltal nincsenek kitéve túlszáritási károsodásnak.

A szárítótorony hengeres részében a szárítóközeg sebességét a nedves anyagrészekre vonatkozó  $\omega$  n függőleges szállítási határsebességre kell beállítani, ami

$$w_n = \sqrt{\frac{2g}{c} \frac{\gamma_n - \gamma_l}{\gamma_l'} \frac{V_a}{F_a}} \quad (2.1.)$$

Feltételezzük, hogy a száradás következtében az egyes anyagrészek nem változtatják meg  $V_a$  térfogatukat, sem pedig az áramlás irányára merőleges  $F_a$  felületüket, valamint, hogy  $\gamma_n - \gamma_l \cong \gamma_n$ . A szállítási határsebességet így értelmezve a szárított anyagszemcsékre nézve is a két sebességérték arányából következik, hogy

$$w_n = w_{sz} \sqrt{\frac{\gamma_n}{\gamma_{sz}}} \quad (2.2.)$$

Az előbbi egyszerűsítésekkel élve egy-egy anyagszemcsére nézve felírható, hogy fajsúlyaik aránya azonos tényleges súlyuk arányával:  $\gamma_n/\gamma_{sz} = G_1/G_2 = b$ ; ami nem más, mint a beszárítási arány (b) fogalma. Ha a  $G_1$  súlyú nedves anyagrész nedvességtartalma  $w_1$  % volt és szárítás után  $G_2$  súlyú és  $w_2$  % nedvességtartalmú lett, fennáll, hogy

$$G_1(1 - w_1) = G_2(1 - w_2)$$

Ezt az összefüggést felhasználva írható, hogy

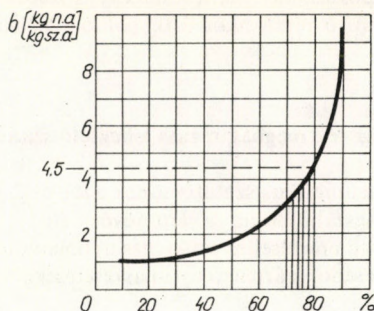
$$\frac{\gamma_n}{\gamma_{sz}} = \frac{G_1}{G_2} = \frac{1 - w_2}{1 - w_1} = b \quad (2.3.)$$

Annak vizsgálatára, hogy a nedves anyagrészek  $w_n$  függőleges szállítási határsebessége hány-szorosa a megszáradt anyagrészek  $w_{sz}$  szállítási határsebességnek, most már számszerűen is használható összefüggést nyertünk:

$$w_n = w_{sz} \sqrt{\frac{1 - w_2}{1 - w_1}} = w_{sz} \sqrt{b} \quad (2.4.)$$

A beszárítási arány (b) értékeit különféle kezdeti anyagnedvességek függvényében — 10 % végnedvesség mellett — a 2.2. ábra szemlélteti.





2.2. ábra

A beszárítási arány változása a kezdeti nedvességtartalom függvényében  
10 % nedvességtű végterméknél.

Zöldtakarmányok szárításánál a nyersanyag nedvessége 70-80 %; tehát ezesetben  $b = 3 \dots 4,5$  azaz  $\omega_n = 1,73 \omega_{sz} \dots 2,12 \omega_{sz}$ .

A megszáradt zöldtakarmányrészeknek a szárítótérből való kiválasztására a lebegtetési sebességükhöz szükséges határsebességnél 1,73. . . 2,12-szer nagyobb sebesség szolgál. A szárítótorny hengeres része tehát szeparátorként működik, amely biztosítja azt, hogy az anyagrészek csak addig tartózkodnak a nagy hőfokú térben, amíg nedvesek és ezalatt – mivel párolgásuk intenzív – hőmérsékletük azt önhűtés következtében nem emelkedik jelentősen a pszichrometrikus hőmérséklet fölé. A megszáradt anyagrészek az intenzív töltet-mozgás következtében azonnal kiválasztódnak a lebegő töltetből és a ciklonba távoznak. Ezáltal a szárított termék túlhevülése és tápanyagtartalmának károsodása nem következik be.

## 2. A lebegtető szárító elemzése

A lebegtető szárító kétségtelen és jelentős előnye, hogy a száraz anyagszemcsék automatikus kiválasztása miatt a szárított termék hőhatás következtében nem károsodik. További másodlagos előnyei, hogy kicsi az építési helyszükséglete, egyszerű a szerkezete és, hogy külsőtéri kivitelénél fogva nem igényel épületberuházást.

A berendezés azonban egy jelentős hiányossággal is bír, amíg a készülék diffuzorának működéséből következik. A diffuzorban ugyanis egyrészt nem tartható lebegő állapotban – elfogadható légnyomás-viszonyok mellett – az a mennyiségű töltet, ami a kedvező kalorikus hatásfok eléréséhez szükséges; másrészt pedig a szárítóba a takarmánnyal együtt bekerülnek olyan vastag szár-darabok is, amelyek teljesen megszáradva sem képesek a diffuzorból távozni. Így néhány óra alatt a száraz szár-darabok a diffuzorban akkumulálódnak, elfoglalják a száradó töltet helyét és ezáltal lerontják a fajlagos hőfelhasználás értékét.

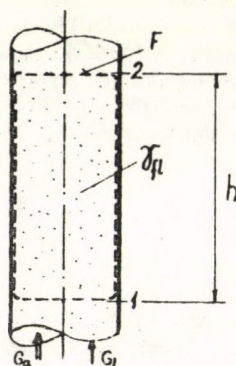
A berendezés előnyeinek megtartása és hátrányainak kiküszöbölése végett részletesen elemeztük a lebegtető szárító diffuzorának működését. Mivel pedig a berendezés lényegében egy

lebegtető szárító és egy pneumatikus csőszárító összekapcsolt változata, vizsgálódásainkat kiterjesztettük az előszárító csővezetékre is, különösen a töltet mennyiségének szempontjából. Ezek az elemzések, és a szárító részfunkcióinak pontos definiálása vezetett azután a feladat gyakorlati megoldásához.

#### a. A szárító töltet mennyiségének meghatározása lebegtető szárítóban

Tekintsük egy függőleges pneumatikus szállítócsőnek az 1 és 2 jelű keresztmetszete közötti hosszúságú szakaszát. Anyagszállításokra a létrejövő  $\Delta p_{1-2}$  nyomásvesztés az üresjárási nyomásvesztéséből, az anyag emeléséhez szükséges nyomásvesztéséből, és az anyagszemcséknek a cső falához való ütközéséből származó nyomásvesztéséből tevődik össze, vagyis:

$$\Delta p_{1-2} = \Delta p_{cső} + \Delta p_g + \Delta p_s \quad (2.5)$$



2.3 ábra  
Pneumatikus szállítócső

illetve:

$$\Delta p_{1-2} = \lambda \frac{h}{a} \frac{c_a^2}{2g} \gamma_l' + \frac{h G_a}{c_a F} + h k_f \frac{G_a c_a}{g F} \quad (2.6.)$$

Abban az esetben, ha a szállítás a sebességek csökkentésével lebegtetéssé válik, érvényes, hogy  $c_l = w_0$  és  $c_a = 0$ . Figyelembevéve továbbá, hogy  $G_a = F \cdot c_a \cdot \gamma_{fl}'$ , ekkor:



$$\Delta p_{1-2} = h \gamma_{fl} + \lambda \frac{h}{a} \cdot \frac{w_o^2}{2g} \gamma_l \quad (2.7.)$$

A nyomásvesztés tehát a lebegtetéshez szükséges  $\Delta p_{leb} = h \gamma_{fl}$  nyomáseséből és az üresjárás

$$\Delta p_{cső} = \lambda \frac{h}{a} \cdot \frac{w_o^2}{2g} \gamma_l$$

nyomásvesztéséből tevődik össze.

Ha figyelembe vesszük, hogy  $\gamma_{fl} = a/Fh$  és bevezetjük a  $(\Delta p_{1-2} - \Delta p_{cső}) = k \Delta p_{1-2}$  jelölést, ahol  $1 > k = 1 - \Delta p_{cső}/\Delta p_{1-2}$ , akkor a lebegésben tartott anyagmennyiség:

$$\alpha = k \Delta p_{1-2} F \quad (2.8.)$$

illetve ha fennáll, hogy  $\Delta p_{cső} \ll \Delta p_{1-2}$  akkor a töltet:

$$\alpha \approx \Delta p_{1-2} F.$$

A töltet meghatározására – különösen sűrű fázisú fluidizált réteg esetében – szokásos a  $\Delta p_{1-2} \approx h(1 - \varepsilon) \gamma_a$  formájú kifejezés is. Zöldtakarmány-szecsakalmaznál azonban a  $\gamma_a$  anyagfajsúly és az  $\varepsilon$  hézagterfogat meghatározása nehézkes. Kifejtett formában pedig ennek az összefüggésnek a jelentése – mivel  $\varepsilon = (\gamma_a - \gamma_{fl}) : \gamma_a$  – azonos az előzőével, mert

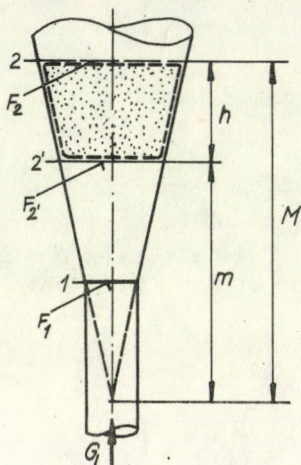
$$\Delta p_{1-2} \approx h(1 - \varepsilon) \gamma_a = h \gamma_{fl} = h \gamma_{fl} F / F = a / F$$

A lebegtetésnek a fent leírt módja – vagyis, hogy hengeres csőben a légsebesség csökkentésével a pneumatikus – vagy fluidizációs szállításból lebegtetés álljon elő – gyakorlatilag nem valósítható meg és ilyen mozgásállapot hosszabb ideig még megközelítően sem tartható fenn. Ennek fő oka az, hogy egy szemcsés anyagalmazban a szemcsék lebegési sebessége nem azonos, továbbá, mert az egyes szemcséknek különféle megfúvási irányokból sem azonos a lebegési sebességük. Éppen ezért hengeres, vagy hasáb alakú készülékben a lebegtetési eljárás nem valósítható meg. Erre a célra a csonkakúp formájú diffuzór alkalmas, azzal a megszorítással, hogy az anyagszemcséknek kifejezetten lebegő állapotban való tartása ugyanis itt sem valósul meg, de a töltet a diffuzórban tartható.

Helyezzünk egy diffuzorba a<sub>elm</sub> mennyiségű szemcsés anyagot. Feltételezve az egyes anyag-szemcsék lebegtethetőségét és lebegésük állandósulását, az a<sub>elm</sub> mennyiségű töltet a diffuzór 2 és 2' jelű keresztmetszete közötti teret fogja kitölteni; annak megfelelően, hogy a határoló keresztmetszetekben lévő légsebességek megfelelnek a szemcséhez viszonyított minimális és maximális lebegési sebességnek. Ilyen körülmények mellett a diffuzór 1 és 2 keresztmetszete között fellépő nyomásvesztés a diffuzór üresjárás nyomásvesztéséből és a lebegtetéshez szükséges nyomásvesztésből fog összetevődni, vagyis:



$$[\Delta P_{1-2}]_{\text{leb}} = \Delta P_{\text{diff}} + \Delta P_{\text{leb}}. \quad (2.9.)$$



2.4 ábra

Lebegő töltet ideális elhelyezkedése diffuzorban

Ahol

$$\Delta P_{\text{diff}} = (1 - \eta_d)(P_{\text{din}1} - P_{\text{din}2})$$

és itt  $\eta_d = 0,75 \dots 0,9$  ha a diffuzor nyílásszöge  $8 \dots 10^\circ$ -nál nem nagyobb. A diffuzor nyomásvesztése mérhető is, annak alapján, hogy a  $\Delta P_{\text{diff}} = P_{01} - P_{02}$ . Utóbbi felhasználásával adódik, hogy a diffuzor hatásfoka:

$$\eta_d = (P_{st2} - P_{st1}) : (P_{\text{din}1} - P_{\text{din}2}).$$

A lebegtetéshez szükséges nyomásvesztésre itt is felírható, hogy  $\Delta P_{\text{leb}} = h \gamma_n$  ahol  $\gamma_n$  a két határoló keresztmetszet között lebegő anyagmennyiség térfogatsúlya, vagyis  $\gamma_{fl} = a_{elm} / K$  és  $K$  a behatárolt térfogat.

Figyelembevéve továbbá, hogy  $K = F_2 M / 3 = F_2' m / 3$  és, hogy

$$M / m = \sqrt{F_2 / F_2'} = \sqrt{c_1 / c_2} = \sqrt{n}$$

vagyis  $F_2' = F_2 / n$  és  $m = M / \sqrt{n}$ , a körülhatárolt térfogatra adódik, hogy  $K = (1 - 1/n) \sqrt{n} F_2 M / 3$ . Figyelembevéve továbbá, hogy  $(M - m) : m = (\sqrt{F_2} - \sqrt{F_2'}) : \sqrt{F_2}$  és  $m = M \sqrt{F_2} / \sqrt{F_2'}$ , a szóban lévő csónakúip magasságára adódik, hogy  $h = (1 - 1/\sqrt{n}) M$ . Ezekkel az értékekkel a lebegtetéshez szükséges nyomás:



$$\Delta p'_{leb} = \alpha_{elm} \frac{h}{K} = \alpha_{elm} \frac{M(1 - \frac{1}{\sqrt{n}})}{\frac{F_2 M}{3}(1 - \frac{1}{n\sqrt{n}})} = 3 \frac{\alpha_{elm}}{F_2} \cdot \frac{n^2 - n\sqrt{n}}{n^2 - \sqrt{n}} \quad (2.10)$$

Behelyettesítve, hogy

$$\Delta p_{leb} = [\Delta p_{1-2}]_{leb} - \Delta p_{diff} = k_d [\Delta p_{1-2}]_{leb}$$

és, hogy  $F_2 = zF_1$ , a lebegésben tartott töltetre nézve írható, hogy

$$\alpha_{elm} = \frac{z}{3} \frac{n^2 - \sqrt{n}}{n^2 - n\sqrt{n}} F_1 k_d [\Delta p_{1-2}]_{leb}. \quad (2.11)$$

*Példa:*

1. A konzervgyári lebegtető szárítóknál a diffuzor méretei a következők:

kisebb átmérő:  $D_1 = 320$  mm, nagyobb átmérő:  $D_2 = 1536$  mm, magasság:  $H = 3356$  mm.  
Legyen  $k_d = 1$  és lucerna esetében  $n = 3$ . A diffuzorban keletkező nyomásvesztések fedezésére álljon rendelkezésre  $[\Delta p_{1-2}]_{leb} = 200$  mm v.o. nyomás.  
Mekkora a lebegtetett anyagmennyiség?

$$z = F_2/F_1 = D_2^2/D_1^2 = 2,35/0,1 = 23,5$$

$$(n^2 - \sqrt{n}) : (n^2 - n\sqrt{n}) = (9 - \sqrt{3}) : (9 - 3\sqrt{3}) = 7,27/3,8 = 1,9$$

$$F_1 = D_1^2 \pi / 4 = 0,32^2 \pi / 4 = 0,0785 \text{ m}^2.$$

Ezekkel az értékekkel az elméletileg lebegésben tartható anyagmennyiség:

$$\alpha_{elm} = \frac{z}{3} \frac{n^2 - \sqrt{n}}{n^2 - n\sqrt{n}} F_1 k_d [\Delta p_{1-2}]_{leb} = \frac{23,5}{3} 1,9 \cdot 0,078 \cdot 200 = 232 \text{ kg.}$$

Az így számított töltet azonban gyakorlatilag nem valósítható meg. A diffuzorban ugyanis 0 kg-tól kezdődően fokozatosan növelve a töltetet, egy idő után az egész anyag-levegő rendszer – még jóval az így számított elméleti nagyságú töltet elérése előtt – lengésbe jön, majd még ugyancsak  $\alpha_{elm}$  értékének elérése előtt – a gyakorlat szóhasználatára szerint – leszakad. Ezzel az anyag lebegtetése megszűnik, mivel az előzőleg lebegtetett adag a diffuzorba leszakadva lényegesen nagyobb ellenállást képvisel, mint lebegtetett állapotban.

A diffuzorban a töltet leszakadásának veszélye nélkül üzemszerűen lebegésben tartható anyagmennyiség megállapítása végett a leszakadt töltet elemzéséből kell kiindulni.

Legyen a diffuzorba leszakadt anyagmennyiségnek és a diffuzornak az együttes ellenállása éppen akkora, mint amely a berendezésnek erre a szakaszára maximumként elő van irányozva, vagyis:

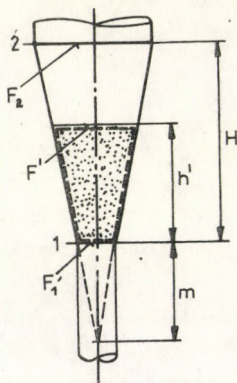
$$[\Delta P_{1-2}]_{\max} = \Delta P_{f1} + \Delta P_{\text{diff}}. \quad (2.12)$$

Mivel  $\Delta P_{f1} = h' \gamma_h$  és  $\gamma_h = a / K'$ , valamint bevezetve a  $k' = 1 - \Delta P_{\text{diff}} / [\Delta P_{1-2}]_{\max}$  értéket, a töltet:

$$a = \frac{K'}{h'} k' [\Delta P_{1-2}]_{\max} \quad (2.13)$$

A 2.5 ábra jelölései alapján  $K' = (h' + m) F' / (3 - F_1 m / 3)$ ; továbbá  $m = H / (\sqrt{z} - 1)$ , és  $(h' + m) = H \sqrt{s} / (\sqrt{z} - 1)$ , amely utóbbiakban  $z = F_2 / F_1$  és  $s = F' / F_1$ . Ezekből az összefüggésekből  $h' = H (\sqrt{s} - 1) / (\sqrt{z} - 1)$  és  $\sqrt{s} = (\sqrt{z} - 1) h' / H + 1$ , és ezekkel az értékekkel a töltet térfogata:  $K' = F_1 H (s \sqrt{s} - 1) / (3 (\sqrt{z} - 1))$ ;  $K'h'$  értéke pedig:  $K'h' = F_1 (s + \sqrt{s} + 1) / 3$ . Ezekkel az összefüggésekkel a diffuzorban leszakadás nélkül lebegtethető maximális anyagmennyiség:

$$a = \frac{s + \sqrt{s} + 1}{3} F_1 k' [\Delta P_{1-2}]_{\max}. \quad (2.14)$$



2.5 ábra  
Leszakadt töltet a diffuzorban

*Példa:*

2. Mekkora az 1. sz. példában közölt feltételek mellett az adott diffuzorban a leszakadás veszélye nélkül lebegtethető anyagmennyiség?

A megadott értékeken kívül  $k' = 1$  és  $\gamma_h = 400 \text{ kg/m}^3$ .



A töltet rétegvastagsága:

$$h' = \frac{k' [\Delta p_{1-2}]_{\max}}{\gamma_h} = \frac{200}{400} = 0,5 \text{ m.} \quad (2.15)$$

$$\sqrt{s} = \frac{h'}{H} (\sqrt{z} - 1) + 1 = \frac{0,5}{3,35} (\sqrt{23,5} - 1) + 1 = \frac{3,84}{6,7} + 1 = 1,57.$$

$$\frac{s + \sqrt{s} + 1}{3} = \frac{1,57^2 + 1,57 + 1}{3} = 1,68.$$

Ezekkel az értékekkel az üzemszerűen lebegtethető töltet:

$$Q = \frac{s + \sqrt{s} + 1}{3} F_1 k' [\Delta p_{1-2}]_{\max} = 1,68 \cdot 0,078 \cdot 200 = 26 \text{ kg}$$

Felmerül ezek után a kérdés, hogy az így számított a maximális anyagmennyiség, amely leszakadt állapotban  $[\Delta p_{1-2}]_{\max}$  ellenállást képvisel, milyen nyomásvesztés árán lebegtethető ugyanabban a diffuzorban.

Ez esetben felírható, hogy  $a = a_{elm}$ , amiből a töltetnek diffuzorban való lebegtetésekor a fel-lépő nyomásvesztés:

$$[\Delta p_{1-2}]_{leb} = \frac{k'}{k_d} \frac{s + \sqrt{s} + 1}{z} \frac{n^2 - n\sqrt{n}}{n^2 - \sqrt{n}} [\Delta p_{1-2}]_{\max}, \quad (2.16)$$

Ez a nyomásvesztés egyben az a töltet lebegtetésekor létesülő minimális nyomásvesztés; vagyis az a töltet a lebegtetése során olyan nyomáslengéseket hoz létre, amelynek minimuma  $[\Delta p_{1-2}]_{leb}$ , maximuma pedig  $[\Delta p_{1-2}]_{\max}$ .

*Példa:*

3. Mekkora nyomásvesztéséget képvisel a 2. példában meghatározott  $a = 26 \text{ kg}$  nagyságú töltet lebegtetett állapotban, egyébként azonos feltételek mellett?

Mivel  $a_{elm} = a$  és

$$a_{elm} = \frac{z}{3} \frac{n^2 - \sqrt{n}}{n^2 - n\sqrt{n}} F_1 k_d [\Delta p_{1-2}]_{leb} \quad (2.17)$$

ezért az a töltet lebegtetéséhez szükséges nyomás:

$$[\Delta p_{1-2}]_{leb} = \frac{a}{\frac{z}{3} \frac{n^2 - \sqrt{n}}{n^2 - n\sqrt{n}} F_1 k_d} = \frac{26}{\frac{23,5}{3} \cdot 19 \cdot 0,078 \cdot 1,17} = \frac{26}{1,17} = 22 \text{ kg/m}^2$$



Illetve:

$$[\Delta p_{1-2}]_{leb} = \frac{3 \cdot 1,68}{23,5} \frac{1}{1,9} [\Delta p_{1-2}]_{max} \approx \frac{1}{9} [\Delta p_{1-2}]_{max} \quad (2.18)$$

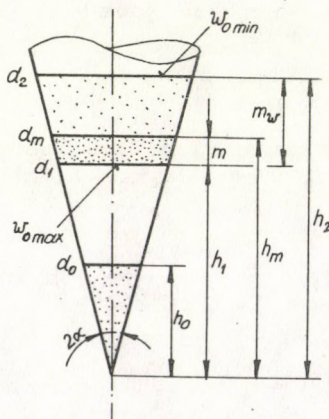
Tehát jelen esetben a lebegtetett töltet 1/9-edszer akkora nyomás-ellenállást képvisel, mint ugyanaz a töltet leszakadt állapotban.

Az elmondottak szerint tehát diffuzorban ideálisan lebegésben tartható anyagmennyiség (töltet) – és az ehhez szükséges nyomásvesztés-, valamint a diffuzor méretei között meghatározott összefüggés állapítható meg; vagyis adott nyomásvesztés esetén kiszámítható az elméletileg lebegésben tartható anyagmennyiség. Az így kiszámított töltet azonban a gyakorlati mérésekkel távolról sem egyezik. Adott nyomásvesztés mellett diffuzorban gyakorlatilag lebegtethető anyagmennyiség lényegesen kisebb, mint amely ideális- vagy teoretikus esetben számítható. Ennek oka a töltet lengéseiben keresendő, valamint abban, hogy az előzőleg lebegtetett töltet a diffuzorba „leszakadva” lényegesen nagyobb ellenállást képvisel, mint lebegtetett állapotban.

Diffuzorban üzemszerűen – leszakadás veszélye nélkül az az anyagmennyiség lebegtethető, amelynél a leszakadt rétegnek-, (vagyis nem a lebegtetett töltetnek-) és a diffuzornak az ellenállása megegyezik (vagy kisebb) a berendezés ezen szakaszára előírányzott nyomásvesztéssel. A leszakadt állapotban- és az ideális lebegtetéskor fellépő nyomásvesztések az eljárás során keletkező nyomáslengések szélső értékeire jellemzők.

#### b. Másodfokú diffuzor statikus elemzése

Az a töltet az  $\propto$  félkúpszögű diffuzor aljában  $h_0$  magasságot tölt ki ömlesztve, és akkor a felső határoló sík átmérője  $d_0$ -al jelölhető. Az adott diffuzorra jellemző, hogy  $d_0/2h_0 = \tan \alpha$ . Helyezzük ugyanezt az a anyagmennyiséget egy  $h_1$  magasságban lévő képzeletbeli síkra. Mekkora lesz  $h_m$ , ill.  $m$ , a réteg magassága?



2.6 ábra  
A töltet helyzetei lebegtető diffuzorban



Alapfeltételünk szerint a  $h_0$  magasságú kúp térfogata azonos az  $m$  magasságú csonkakúpéval, vagyis:  $d_0^2 h_0 = d_m^2 h_m - d_1^2 h_1$ . Fennáll továbbá, hogy  $d_0/h_0 = d_1/h_1 = d_m/h_m$ . Ezzel:  $h_0^3 + h_1^3 = h_m^3$ , amiből

$$h_m = \sqrt[3]{h_1^3 + h_0^3}; \text{ és a } h_1 \text{ magasságban lévő szemcsés halmaz}$$

rétegvastagsága:

$$m = \sqrt[3]{h_1^3 + h_0^3} - h_1.$$

A diffuzorban  $h_1$  magasságban lévő képzeletbeli síkban elhelyezett  $a$  anyagmennyiség  $m$  magassága tehát  $h_1$  függvénye, valamint az adott anyagra jellemző  $h$  értéké. Utóbbi a szemcsés halmaz térfogatsúlyának értelmezéséből fejezhető ki, mivel  $\gamma_h = 12 a / d_0^2 \pi h_0$ ; de mivel  $d_0 = 2 h_0 \tan \alpha$ , ezért

$$h_0 = \sqrt[3]{\frac{3}{\pi} \frac{a}{\gamma_h \tan^2 \alpha}} \quad (2.20)$$

Az ömlesztett töltet elemzése után vizsgáljuk meg a töltetet lebegtetett helyzetben.

A diffuzoron bármilyen sebességű gázt átáramoltatva – ideális körülmények között – létrejön valamely  $d_1$  és  $d_2$  átmérővel jelzett síkban olyan  $\omega_0 \max$  és  $\omega_0 \min$  sebességérték, amely a megfelelő szemcsés halmaz lebegtetési sebességeloszlásának szélső értékeire jellemző. Következésképp – ideális körülmények között – a diffuzorba juttatott  $a$  mennyiségű töltet a lebegési sebességeloszlás szélső értékeinek megfelelő  $d_1$  és  $d_2$  átmérőjű síkok között helyezkedik el. Kérdés, hogy különféle  $h_1$  értékeknél ez a „réteg” milyen vastagságú ( $m_w$ ), és térfogatú ( $K_w$ ).

A gázáramlás kontinuitása alapján  $d_1^2 \omega_0 \max = d_2^2 \omega_0 \min$ ; és legyen  $\omega_0 \max / \omega_0 \min = d_2^2 / d_1^2 = s$ . Ekkor  $d_2 = d_1 \sqrt{s}$ ; figyelembevéve továbbá, hogy  $d_2 = h_2 d_0 / h_0$  és  $d_1 = h_1 d_0 / h_0$ , valamint, hogy  $m_w = h_2 - h_1$ , ezekkel:

$$m_w = h_1 (\sqrt{s} - 1). \quad (2.21)$$

Vagyis a lebegtetett halmaz ideális rétegvastagsága az anyaghalmaz magassági helyzetének, valamint lebegési sebesség-jellemzőinek függvénye.

A lebegtetési intervallumnak, mint csonkakúpnek a térfogata:

$$K_w = \frac{\pi}{12} m_w (d_2^2 + d_2 d_1 + d_1^2). \quad (2.22)$$

Az összefüggés mindkét oldalát  $d_1^2$ -el osztva és figyelembevéve, hogy  $d_2^2 / d_1^2 = s$ , írható, hogy:

$$K_w = (\pi/12) d_1^2 m_w (s + \sqrt{s} + 1);$$

behelyettesítve  $m_w$  értékét, a lebegtetési intervallum térfogata:

$$K_w = \frac{\pi}{12} d_1^2 (\sqrt{s} - 1) h_1. \quad (2.23)$$



vagy pedig  $d_1^2 / 4h_1^2 = \text{tg}^2$  helyettesítésével:

(2.24)

$$K_w = \frac{\pi}{3} \text{tg}^2 \propto (\sqrt{s^3} - 1) h_1^3$$

A diffuzor fent leírt jellemzőivel kifejezhető a lebegtetett réteg szilárd-szemcse koncentrációja és rétegnyomása. A koncentrációra írható, hogy:

$$(1 - \varepsilon_w) = \frac{\gamma_w}{\gamma_h} (1 - \varepsilon_h) = \frac{K_h}{K_w} (1 - \varepsilon_h), \quad (2.25)$$

ahol  $\varepsilon$  a hézagtérfogatot jelenti, a  $h$  index pedig az anyag (töltet) ömlesztett állapotára vonatkozik.

$$\text{Mivel } \gamma_w = a/K_w \text{ és } a = K_h \gamma_h, \text{ valamint } K_h = \frac{d_o^2 \pi h_o}{12} = \left( \frac{d_o^2}{h_o} \right)^2 \frac{\pi}{12} h_o^3$$

ezekkel a lebegtetett réteg térfogatsúlya:

$$\gamma_w = \left( \frac{h_o}{h_1} \right)^3 \frac{\gamma_h}{\sqrt{s^3} - 1} \quad (2.26)$$

A szilárd anyag koncentráció pedig:

$$(1 - \varepsilon_w) = \frac{\gamma_w}{\gamma_h} (1 - \varepsilon_h) = \left( \frac{h_o}{h_1} \right)^3 \frac{1 - \varepsilon_h}{\sqrt{s^3} - 1}. \quad (2.27)$$

Az összefüggés kimutatja azt az egyébként szemlélettel is érzékelhető tényt, hogy a lebegtetett réteg koncentrációja fordítva arányos a lebegtetett réteg fiktív alapsíkjának magassági helyzetével.

Az  $m_w$  magasságú töltet rétegnyomására írható, hogy:

$$p_w = m_w \gamma_w = \frac{\sqrt{s} - 1}{\sqrt{s^3} - 1} \gamma_h \frac{h_o^3}{h_1^2}; \quad (2.28)$$

Mivel azonban  $(\sqrt{s} - 1) : (\sqrt{s^3} - 1) = 1/(s + \sqrt{s} + 1)$ , és  $\int_h 12 a/d_o^2 \pi h_o$ , ezért

$$p_w = \frac{12}{\pi} \frac{\alpha}{s + \sqrt{s} + 1} \left( \frac{h_o}{d_o h_1} \right)^2 \quad (2.29)$$

de a  $h_1/d_1 = h_o/d_o$  azonossága alapján  $\left( \frac{h_o}{d_o h_1} \right)^2 = \frac{1}{d_1^2}$

és így:

$$p_w = \frac{12}{d_1^2 \pi} \frac{\alpha}{s + \sqrt{s} + 1} = \frac{\alpha}{F_f} \frac{3}{s + \sqrt{s} + 1} \quad (2.30)$$



Látható tehát, hogy az  $m_{\omega}$  magasságú töltet rétegnyomása fordítva arányos a lebegtetett réteg fiktív alapsíkjának felületével. Valóságos viszonyok között a töltet függőleges irányú lengéseket végez, ilyenkor periodikusan csökken  $F_1$  értéke, ami nyomáslökéseket eredményez.

A töltet  $m_{\omega}$  magasságán belül függőleges irányú anyaglendések is az előbbiekhöz hasonló értelmű nyomáslökéseket eredményeznek. Kimutatható ugyanis, hogy az  $m$  vastagságú a töltet rétegnyomása nagyobb, mint az  $m_{\omega}$  vastagságúé:

$$p_m > p_{\omega}.$$

Levezethető ugyanis, hogy

$$p_m = \frac{a}{F_1} \frac{3}{\frac{d_m^2}{d_1^2} + \frac{d_m}{d_1} + 1}, \quad (2.31)$$

és mivel

$$s = \frac{d_2^2}{d_1^2} > \frac{d_m^2}{d_1^2}$$

ezért fönnáll, hogy

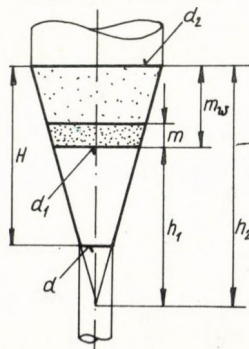
$$p_m > p_{\omega}.$$

*Példa:*

Egy lebegtető diffuzor magassága :  $h = 3,356$  m, nagyobb átmérője :  $d_2 = 1,536$  m, kisebb átmérője :  $d = 0,32$  m. A töltet  $a = 25$  kg, aminek ömlesztett térfogatsúlya  $\gamma_h = 400$  kg/m<sup>3</sup> és lebegtetési sebességeloszlásának szélső érték-aránya:

$$\omega_{\max}/\omega_{\min} = s = 3.$$

Kiszámítandó a  $d_1$  átmérőjű keresztmetszeten lévő  $m$  magasságú ömlesztett töltet-, és  $m_{\omega}$  magasságú lebegtetett töltet rétegnyomása, valamint a lebegtetett töltet szilárd szemcse koncentrációja.



2.7 ábra

Lebegtető diffuzor jelölései a számpéldához

A lebegtetett réteg magassága:

$$m_w = h_1 (\sqrt{s} - 1) = h_2 - h_1.$$

Ehhez: 
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_2 - d}{2H} = 0,181$$

és 
$$h_2 = d_2 / 2 \operatorname{tg} \alpha = 4,239 \text{ m}$$

valamint 
$$h_1 = h_2 / \sqrt{s} = 2,447 \text{ m}$$

$$m_w = h_2 - h_1 = 1,792 \text{ m}$$

Az ömlesztett réteg magassága:

$$m = \sqrt[3]{h_1^3 + h_o^3} - h_1.$$

Ehhez: 
$$h_o^3 = \frac{3}{11} \frac{a}{f_h \operatorname{tg}^2 \alpha} = 1,819,$$

$$m = \sqrt[3]{2,447^3 + 1,819} - 2,447 = 0,064 \text{ m}.$$

Az ömlesztett réteg nyomása:

$$p_m = m f_h = 25,6 \text{ kg/m}^2$$

A lebegtetett réteg nyomása:

$$p_w = \frac{a}{F_1} \cdot \frac{3}{s + \sqrt{s} + 1},$$

Ehhez: 
$$d_1 = 2h_1 \operatorname{tg} \alpha = 0,887 \text{ m}$$

és 
$$F_1 = d_1^2 11 / 4 = 0,617 \text{ m}^2$$

$$p_w = \frac{25}{0,617} \cdot \frac{3}{3 + \sqrt{3} + 1} = 21,2 \text{ kg/m}^2.$$

A szilárdanyag koncentráció a lebegtetett rétegben;

( $\epsilon = 0,6$  esetén):

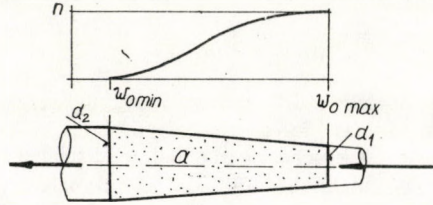
$$(1 - \epsilon_w) = \frac{h_o^3}{h_1^3} \frac{1 - \epsilon_h}{\sqrt{s^3} - 1} = 0,012.$$



A számpélda eredményeiből különösen figyelemreméltó az ömlesztett réteg kis magassága :  $m = 0,064$  m, valamint a fluidizált réteg csekély szilárd-szemcse koncentrációja ( $1 - \epsilon_{2s} = 1,2\%$ ).

### c. A lebegtető diffuzor működése

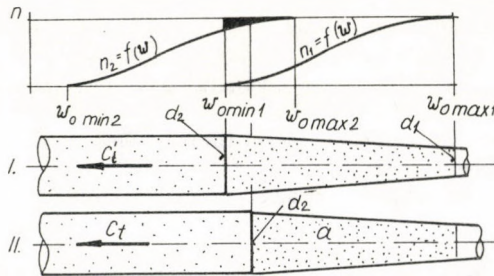
Diffuzoron valamilyen sebességű gázt átáramoltatva – ideális körülmények között – létrejön  $d_1$  és  $d_2$  átmérővel jelzett síkban olyan  $w_{0 \max}$  és  $w_{0 \min}$  sebességérték, amely a megfelelő szemcsés halmaz lebegtetési sebességeloszlásának szélső értékeire jellemző. Mászóval a diffuzorba juttatott a mennyiségű töltet a lebegési sebesség-eloszlás szélső értékeinek megfelelő  $d_1$  és  $d_2$  átmérőjű felületek között helyezkedik el (2.8 ábra).



2.8 ábra  
Szemcsés halmaz diffuzorban

Nedves lucernaszemcska esetében  $d_2$  a diffuzor legnagyobb átmérője, és ide csatlakozik a szeparáló torony; Vagyis a  $w_{0 \min}$  értékhez tartozó szemcséknél könnyebb anyagdarabok a  $c'_t = w_{0 \min 1}$  légsebesség hatására távoznak a diffuzorból.

Szárításkor az a nedves töltet szemcséinek lebegési sebességértékei lecsökkennek a nedves szemcsahalmaz  $n_1 = f(w)$  lebegési sebesség-görbéje a csökkenő  $w$  értékek felé eltolódik és a  $w_{0 \min 1}$ -nél kisebb lebegési sebesség-értékkel jellemzett szemcsék megszáradva távoznak a diffuzorból (2.9 ábra).



2.9 ábra  
Nedves és száraz szemcsék mozgáviszonyai diffuzorban

A nedves töltetre jellemző  $n_1 = f(\omega)$  lebegési sebességgörbéből  $n_2 = f(\omega)$  lesz a száradás következtében. Mindenféle fajtájú zöldtakarmány-szecsckánál előfordul azonban, hogy egészen vastag-, durva szárdarabok (főleg a gyomnövények szárrészei) kerülnek közé. Ezeknek a lebegési sebessége megszáradva sem lesz kisebb, mint  $\omega_{0 \min} 1$  (2.9 ábra). Vagyis:  $\omega_{0 \max} 2 > \omega_{0 \min} 1$ . Ezért a száraz szárrészek nem tudván távozni a diffuzorból idővel felhalmozódnak; Ezáltal először fokozatosan romlik a fajlagos hőfelhasználás értéke, mivel a száraz szemcsék a száradó nedves szemcséket mintegy kiszorítják a szárítótérből, majd az akkumulálódás előrehaladtával addig növekszik az  $a$  töltet tömege, amíg a lebegtetés megszűnik, a szemcsék a diffuzor aljába hullanak, a lebegő töltet mintegy „leszakad”. Némileg javít a helyzeten, hogy a nedves halmaz könnyű szemcséi (a levélrészek) nem szorulnak lebegtetésre, ezek a szárítótérben való egyszeri átvétetéssel is megszáradnak. Emiatt azután a szeparátorban alkalmazott légsebesség nagyobb lehet, mint a nedves töltet lebegési sebességének minimuma, vagyis

$$c_t > \omega_{0 \min} 1.$$

Ennek következtében kisebb lesz a diffuzorban összegyűlő szárrészek mennyisége (2.9 ábra, II.), illetve a töltet „leszakadásának” folyamata lelassul.

Ha a szeparáló toronyban  $c_t$  a légsebesség és emellett  $n_2$  a szárított anyag kihordási százaléka, akkor a  $G_2$  kg/ó szárított anyagmennyiségből  $n_2 G_2$  kg/ó távozik és  $(1 - n_2) G_2$  kg/ó benne marad a diffuzorban. Így  $\tau$  idő elteltével a diffuzorban összegyűlő szárított anyagmennyiség:

$$a_n = (1 - n_2) \tau G_2 \text{ kg.} \quad (2.32)$$

A lebegtetés, ill. a szárítás teljes zavara akkor következik be, ha az összegyűlő szárított anyag mennyisége eléri a normális töltet mennyiségét:  $a_n \geq a$ . Ekkor:  $a = (1 - n_2) \tau G_2$  és ebből a száraz szemcsedarabok akkumulálódásának időtartama:

$$\tau = \frac{a}{(1 - n_2) G_2} \quad (2.33)$$

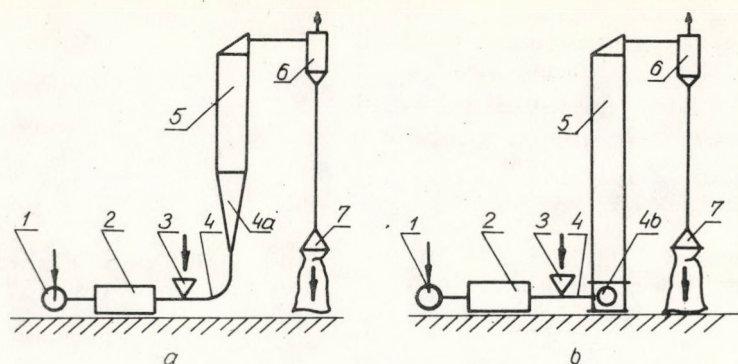
Egy olyan szárítónál pl. amelynek a szárazanyag-teljesítménye  $G_2 = 200$  kg/ó – az üzemszerű töltet – mennyisége pedig  $a = 40$  kg, az akkumulálódás időtartama ( $n_2 = 0,95$  kihordásnál)  $\tau = 40 : (1 - 0,95) 200 = 4,0$  óra.

A gyakorlatban a szárítóberendezés főventillátorát túlméretezik, hogy a száraz-részek akkumulálása alkalmával lehetőség legyen az  $a_n$  száraz töltet kifúvatására. Ez néhány percet vesz igénybe a tüzelés megszakítása nélkül, majd a szárítás folytatható.

#### d. A száradó réteg fogalma és meghatározása pneumatikus csőszárítónál

A zöldtakarmányok egyenáramban egészen magas hőmérsékleten száríthatók, de egyéb mozgásvizonylatok esetén a szárítóközeg-hőmérséklet korlátozott. Ezért célszerű mind a lebegtető-, mind pedig az esőrétegű szárítót előszárító csővezetékekkel ellátni.



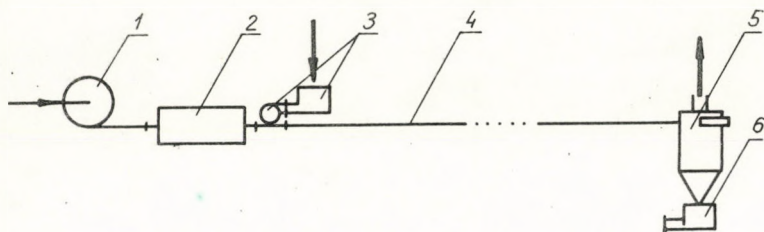


2.10 ábra

a. Lebegtető szárító, b. Esőrétegű szárító 1 ventilátor, 2 léghevítő, 3 adagoló, 4 előszárító cső, 4/a rec. adagoló, 5 szeparáló torony, 6 ciklon, 7 zsákoló

Igy ezek a szárítók két berendezés összekapcsolt kombinációi, amelyekben az előszárító csővezeték mint pneumatikus csőszárító működik.

Pneumatikus csőszárítónál nem lehet olyan értelemben a töltet- rétegmagasságáról beszélni, mint pl. szemcsés halmazok nyugvó rétegű szárításánál. Utóbbinál a rétegvastagság fontos méretezési paraméter, amittől nagymértékben függenek a szárítás kalorikus mutatói.



2.11 ábra

Pneumatikus csőszárító modell 1 ventilátor, 2 léghevítő, 3 adagoló, 4 szárító csővezeték, 5 ciklon, 6 ürítőszerkezet

Esetünkben a száradó anyagréteg az a hossz méret, amit a pneumatikus szállítócsőben egyidejűleg tartózkodó anyagmennyiség laza halmazként kitölt a szállítócsőben. Matematikai deffiníciójához az alábbi jelöléseket használjuk:

$w_a$  anyagsebesség a szállítócsőben, m/mp

$w_g$  gázsebesség a szállítócsőben, m/mp

$q_a$  az anyag fm.-súlya a szállítócsőben, kg/m

$G_a$  anyagszállító teljesítmény, kg/mp

- $G_g$  lég-, (gáz-) szállítás, kg/mp  
 $\mu$  keverési arány,  
 $l$  a szállítócső hossza, m  
 $F$  a szállítócső keresztmetszeti felülete,  $m^2$   
 $\gamma_g$  a szállított gáz fajsúlya,  $kg/m^3$   
 $\gamma_h$  a szállított anyag térfogatsúlya,  $kg/m^3$   
 $g_a$  a szállítócsőben egyidejűleg tartózkodó anyag súlya  
 $h'$  a rétegvastagság, m  
 $F_g$  az áramló gáz keresztmetszeti felülete a csőben,  $m^2$ .

Tekintsünk egy  $l$  hosszúságú függőleges pneumatikus szállítócsövet üzemben, majd áramlásmentesen, de megtartva benne az egyidejűleg tartózkodó anyagmennyiséget (2.12 ábra). Üzem közben az  $l$  hosszúságú csőben lévő anyagmennyiség:

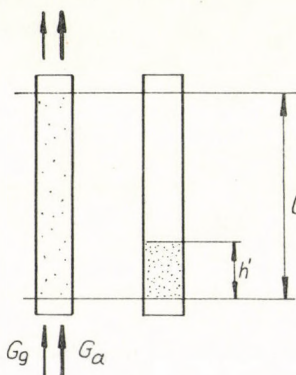
$$g_a = l q_a = l \frac{G_a}{w_a} \quad (2.34)$$

Ugyanez a feltételezett áramlás-mentes állapotban:

$$g_a = F h' \gamma_h \quad (2.35)$$

A kettő azonossága miatt:

$$l \frac{G_a}{w_a} = F h' \gamma_h, \quad \text{vagy} \quad h' = \frac{l G_a}{w_a F \gamma_h} \quad (2.36)$$



2.12 ábra  
Pneumatikus szállítócső

Utóbbi kifejezésben bevive a  $G_a = \mu G_g$  és  $G_g = F_g w_g \gamma_g$  összefüggéseket, kapjuk, hogy:

$$h' = \mu l \frac{F_g w_g \gamma_g}{F w_a \gamma_h} \quad (2.37)$$



A gyakorlati esetek többségében  $\mu \leq 10$ , és ekkor  $F_g \approx F$ . Ezzel a rétegvastagság a pneumatikus szállítócsőben:

$$h' = \mu l \frac{\omega_g}{\omega_a} \cdot \frac{\gamma_g}{\gamma_h} \quad (2.38)$$

A rétegvastagság összefüggésének tényezői egy adott berendezésnél  $\omega_a$  anyagsebesség kivételével ismereteseek. Ez utóbbira vonatkozóan Pápai összefüggését használjuk, amely egyaránt vonatkozik a nagyszemcsés anyagok pneumatikus és fluidizációs szállítására:

$$\omega_a = \omega_g - \omega_0 \sqrt{1+k} \quad (2.39)$$

Az összefüggésben  $\omega_0$  az anyagszemcse lebegési sebességét jelöli,  $k$  pedig az anyagra jellemző állandó.

A  $h'$  rétegvastagság meghatározására kidolgozott számítónomogrammban  $\omega_a = f(\omega_g)$  függvényként a malmi törethez ( $k=0,8$ ,  $\omega_0 = 3,3$ ,  $d_0 = 1,5$ ,  $\gamma_h = 1300$ ) vonatkozó görbét rajzoltuk be, mivel szálas anyagra vonatkozóan ilyenek nem ismereteseek. Ennek ellenére a nomogramm használatát megkönnyíti az, hogy szecskaszállításnál  $\omega_g / \omega_a$  értéke a gyakorlatban alkalmazásra kerülő sebességviszonyok mellett – különösen, ha a szállítóközeg meleg levegő – feltételezhetően 1...1,2 között van.

*Szám példa:*

A  $G_a = 600$  kg/ó teljesítményű lebegtető szárítónál az előszárító csőszakasz hossz  $l = 8$  m. Mennyi a rétegvastagság az előszárító csőben, ha a szállított légmennyiség  $G_g = 6000$  kg/ó, a hőmérséklet  $t_g = 20^\circ\text{C}$ , és a légsebesség  $\omega_g = 20$  m/mp.

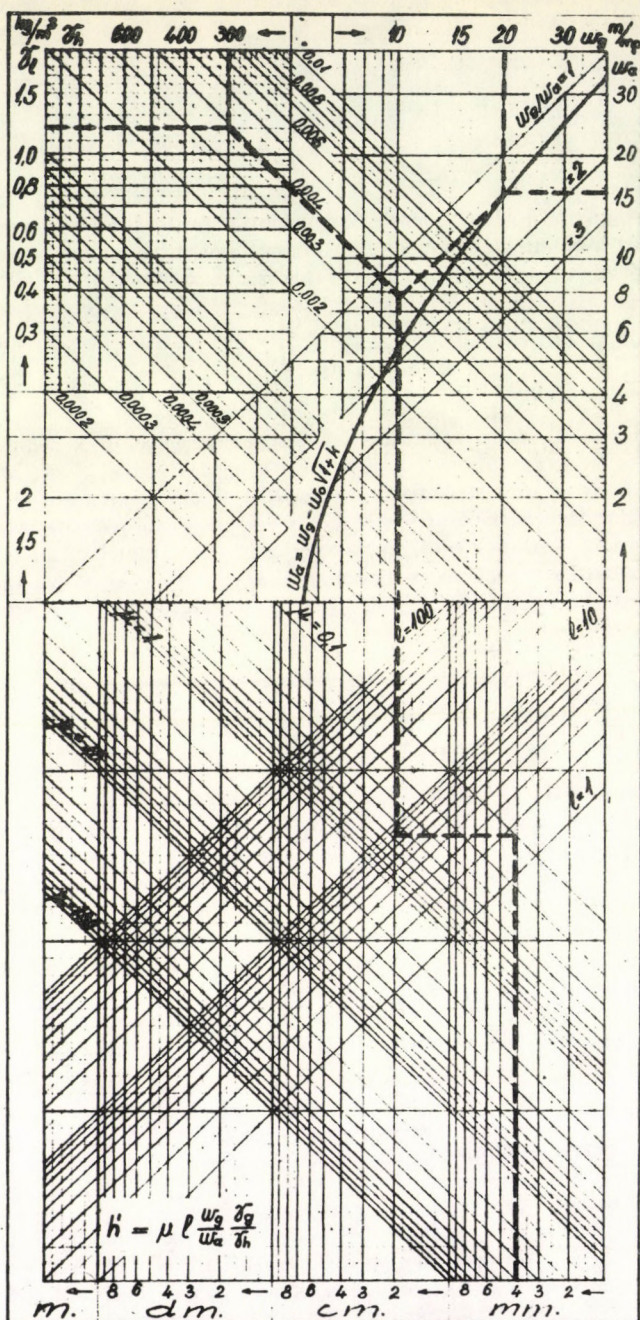
A keverési arány:  $G_a/G_g = \mu = 0,1$ ; az anyagsebesség:  $\omega_a = \omega_g - 3,3 \cdot \sqrt{1+0,8} = 15,5$  m/mp; a takarmányhalmaz térfogatsúlyát  $\gamma_h = 300$  kg/m<sup>3</sup>-nek vesszük. Ezekkel az értékekkel a rétegvastagság:  $h' = 0,1 \cdot 8 \cdot 20 \cdot 1,2 / 15,5 \cdot 300 = 0,0041$  m = 4,1 mm.

A szám példa alapján nyilvánvaló, hogy a lebegtető szárítónál a rétegvastagság növelésére kell törekedni, különösen akkor, ha figyelembe vesszük, hogy üzemi hőmérsékleten az előszárító csőben a  $h'$  rétegvastagság kisebb, mint 4,1 mm. A  $h'$  rétegvastagság összefüggésének elemzéséből látható, hogy  $h'$  értékének növelése elsősorban  $\mu$  és  $l$  értékeinek a változtatásával lehetséges, mivel  $\omega_g/\omega_a$  értéke szűk határok között fekszik,  $\gamma_h$  értéke az anyag által adott, és  $\gamma_g$  növelése a szárítóközeg-hőmérséklet csökkenését jelenti, ami nem kívánatos, bár bizonyos esetekben célszerű lehet. További gyakorlati előrelépéshez a  $h'$  rétegvastagság optimális mértékének a meghatározása szükséges.

#### e. A lebegtetéses eljárás értelmezése

A lebegtetéses eljárást a szakirodalom többnyire a fluidizáció keretében tárgyalja. Éles elhatárolásuk általában nem történik meg, mivel egyik jelenség sem állítható elő tisztán, a másiktól elkülönítve, a szemcsés halmazok szemcseméret-eloszlásának jellegéből következően. Ezért utóbbiak nehézségbe az egyes eljárások értelmezése és definiálása is.





2.13 ábra  
Számítónomogram  $h$ ' meghatározásához



„A fluidizáció, ahogy ma<sup>\*</sup> ismerjük, az elmúlt tizenöt év fejlődésének eredménye. Ujdonsága ellenére a megjelent közlemények száma igen nagy, és az adatok, valamint értelmezésük többféle irányban változott” – írja Max Leva, könyvének előszavában.

„A *fluidizáció* kifejezést szemcsés szilárd anyag és fluidumok meghatározott érintkezési módjának leírására alkották. Bemutatása céljából képzeljünk el lekerekített szemcséjű kvarchomokot, amelyet prózus fenéklappal elzárt hengeralakú edényben helyeztünk el. Ha levegő (fluidum) áramlik a prózus fenéklapon át az ágyba (rétegbe) és az ágyon (rétegen) keresztül, van olyan áramlási sebesség, amelynek elérésekor a homokoszlop éppen *lebeg*. Ebben az állapotban az egyes homokszemcsék bizonyos mértékben elkülönülnek egymástól és könnyen mozgathatók, sokkal kisebb energiabefektetéssel, mint ami akkor szükséges, ha az oszlopot a levegő nem *lebegteti*. A levegővel kevert homokoszlop mozgékony állapotában nagy viszkozitású folyadékhoz hasonlít. Innen kapta a művelet a *fluidizáció* nevét.”

A fluidizációnak a fenti leírását M. Leva azonban kiterjeszti és a fluidizáció spektrumaként ismerteti a csőszerű készülékben létrehozandó mozgásvizonyokat, a fluidizált rétegből a pneumatikus szállításig (2.14 ábra).

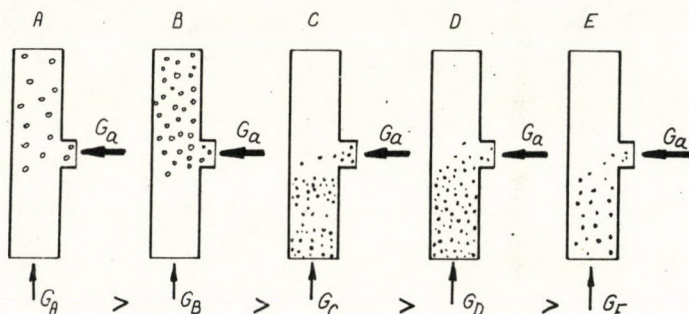
A: Szállítás csak felfelé. Igen kis részecsketartalom, csak a felső szakaszban.

B: Még tiszta felfelé szállítás. Növekvő részecsketartalom csak a felső kolonnaszakaszban.

C: Lökődösi tartomány. Nagy részecskekoncentráció az alsó szakaszban. Kevés részecske van a felső szakaszban.

D: Fluidizált ágy (réteg). Maximális részecskekoncentráció, csak az alsó szakaszban.

E: Fluidizált ágy (réteg). Csökkent részecskekoncentráció az alsó szakaszban.



2.14 ábra

A fluidizált állapot szakaszainak szemléltetése Leva szerint.

A 2.14 ábrán szemléltetett – Wilhelm és Valentin által végzett – kísérletekkel kapcsolatban Leva megjegyzi, hogy ezek „a különböző jelenségek között megmutatják az összefüggéseket, habár a B állapotból a C-be az átmenet olyan gyors, hogy mérések ebben a tartományban nehezen végezhetők”. Márpedig éppen ez az állapot – a B és C közötti – a lebegtetés. Erre következtethetünk a 2.15 ábrából is, ami a 2.14. ábrában szemléltetett kísérlet értelmezését adja meg egyes paraméterekkel. Ebből látható, hogy ezen értelmezés szerint fluidizált réteg a D és E esetben áll fenn, szállítás pedig az A esetben. A C helyzet, vagyis a lökődöses állapot a flu-

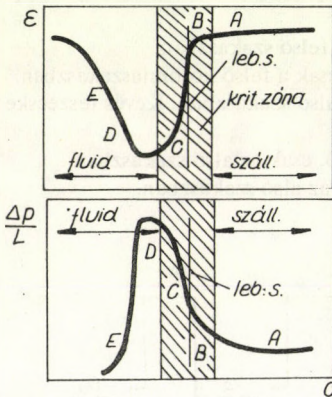
\* Az 1964-ben kiadott magyar fordítás nem tünteti fel az eredeti kiadvány dátumát.



idizált réteg határhelyzete a B állapot pedig a pneumatikus szállítás határhelyzete (dugulási határ). A lebegtetés tehát nincsen ábrázolva, mint ahogyan lebegtetés állandó keresztmetszetű csőben – vagyis egyetlen sebességértékkel – gyakorlatilag nem is valósítható meg.

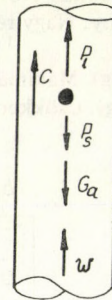
Filka szerint : „lebegtetéses eljárásnak nevezzük azt az eljárását, amelynél a felfelé áramló gázba (vagy folyadékba) szilárd anyagot adagolunk, miközben a szemcsére gyakorolt dinamikus felhajtóerő kisebb vagy egyenlő a szemcsék súlyával és a szilárdanyag eltávozását a rendszerből nem gátoljuk”. Ez a definíció tulajdonképpen a Wilhelm-Valentin-féle spektrum B-C közötti, C-D-E eseteit együttesen nevezi lebegtetéses eljárásnak; holott az eredeti értelmezés szerint a C-D-E esetekben lebegtetésről nincsen szó.

A lebegtetéses eljárás értelmezéséhez közelebb vihet a lebegési sebesség értelmezése. A lebegtetés klasszikus felfogása szerint ideális anyagszemcse lebegtetése esetén fölrítható, hogy (2.16 ábra): az anyagszemcse sebessége  $c = 0$ , a sűrűdési erő  $p_s = 0$ , a szemcsére ható légellenállás egyenlő a szemcse súlyával  $P_l = G_a$ , mikoris a légsebesség a lebegési sebességgel azonos  $w = w_0$ .



2.15. ábra

A fluidizált állapot változásainak vázlata. (Leva)



2.16. ábra

Anyagszemcse lágáramban

Ezzel az ideális anyagszemcse lebegési sebessége:

$$w_0 = \sqrt{\frac{2g}{C} \frac{\gamma_a - \gamma_l}{\gamma_l} \frac{V_a}{F_a}} \quad (2.40)$$

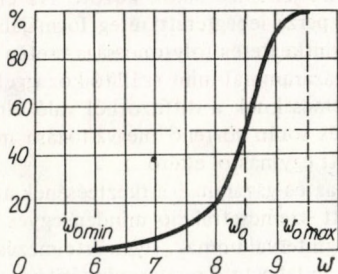
Mivel azonban a valóságban a szemcséknek az egyes megfúvási irányához tartozó C ellenállástényezője, és  $F_a$  keresztmetszete eltérő, ezért valós anyagszemcsék  $c = 0$  feltétellel nem lebegtethetők.

Valós szemcsére vonatkozóan egy ( $w_{0 \min}$ ,  $w_{0 \max}$ ) lebegési sebességintervallumról beszélhetünk, amelynél  $w_{0 \min}$  esetben  $CF_a \rightarrow \max$ , és gyakorlatilag az anyagszemcse esése következik be a légáram ellenében;  $w_{0 \max}$  esetében pedig  $CF_a \rightarrow \min$ , és a légáram az anyagszemcsét gyakorlatilag szállítani fogja. A két határérték között a szállítás, illetve a (légáram ellenében történő) esés bekövetkezésének valószínűsége különböző. Azt a pontot, ahol ez utóbbinak valószínűsége 50-50 % – nevezhetjük a valós anyagszemcse  $w_0$  lebegési sebességének, tudva emellett azt, hogy ez nem jelenti a szemcsére nézve  $c = 0$  érték felvételét.

Valós anyagok szemcsés halmazai esetében is a halmazra jellemző lebegési (vagy kihordási, illetve esési-) sebességintervallumról beszélhetünk. A halmaz szemcséinek ugyanis a fentiekben kívül  $\gamma_a$  fajsúlya és  $V_a$  térfogata sem azonos. Itt az esés vagy a szállítás valószínűségét a halmaz azonos mozgásállapotú szemcséi súlyhányadának az értéke helyettesíti. Ezért azután egy

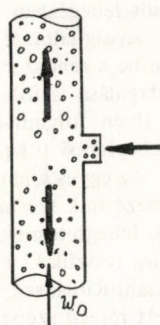


$\omega_0$  min és  $\omega_0$  max sebességértékekkel határolt szemcsefrakciót (2.17 ábra) egy  $\omega_0$  közepes sebességre beállított csőszerű készülékbe juttatva, a szemcsehalmaz ( $\omega_0$  min,  $\omega_0$  max) sebességintervallumhoz tartozó részét a fluidum magával szállítja, a ( $\omega_0$ ,  $\omega_0$  max) intervallumhoz tartozó szemcsék pedig esni fognak a fluidumáram ellenében (2.18 ábra).



2.17 ábra

Szemcsés halmaz lebegési sebesség-görbéje.  
(Buza).



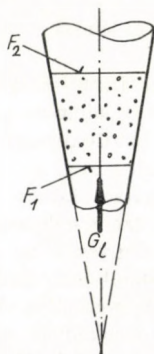
2.18 ábra

Szemcsemozgás a halmaz lebegési sebességre beállított csőben.

Megállapodás kérdése, hogy a ( $\omega_0$  min,  $\omega_0$  max) intervallumon belül melyik  $\omega_0$  sebességértéket nevezzük a szemcsehalmazra jellemző lebegési sebességnek; tudva emellett azt, hogy ez nem jelenti sem a halmazra, sem egyetlen szemcsére nézve a  $c = 0$  érték felvételét.

Szemcsés halmazokra nézve Filka kétféle lebegtetési sebességet definiál a 2.18 ábrán szemléltetett készülék igénybevétele alapján. Az egyik „amelynél a beadagolt szilárd anyag 50 %-a le hullik, 50 %-a pedig pneumatikus szállítással távozik a rendszerből”. A másik „amelynél a rendszerben tartózkodó lefelé hulló szemcsék mennyisége maximális, azaz  $(1 - \epsilon) = \max$ ”. Továbbá megállapítja, hogy „az 50 % alapján mért esési sebesség a mediánhely, az  $(1 - \epsilon) = \max$  feltétel alapján definiált sebesség pedig a maximumhely szemcseméretére jellemző. A két úton meghatározott lebegtetési sebesség szűk szemcsefrakciók esetén közelítőleg azonos”.

A lebegtetés sajátos körülményei állnak elő, ha valós anyagszemcsét vagy szemcsehalmazt a gázáram irányával megegyezően bővülő keresztmetszetű függőleges helyzetű csőbe (diffuzorba) juttatunk (2.19 ábra).



2.19 ábra

Szemcsés halmaz lebegtetése diffuzorban



Ekkor az áramló levegő tömegsebességének megfelelő kiválasztásával kijelölhető a diffuzornak olyan két  $F_1$ ,  $F_2$  keresztmetszete, amelyekben az anyaghalmazra jellemző  $\omega_{0 \max}$  és  $\omega_{0 \min}$  lebegési határsebességek állnak elő. (Az egyes keresztmetszetekben feltételezzük a sebességeloszlás azonosságát.) A diffuzor  $F_1$ ,  $F_2$  síkokkal határolt terében a diszpergált halmaz szemcséi változó irányú és sebességű mozgást végeznek, de a halmaz egésze – a lengéseket nem tekintve – állandósult lebegésben tartható a szemcseösszetételre jellemző síkok között. Az eljárás során tehát az anyaghalmazt egy erősen fellazított (diszperz) lebegtetett réteg formájában hozzuk érintkezésbe a rendszer fluid komponensével. Az érintkeztetés folytonossága esetén a szemcsés anyag adagolása is folyamatosan történik, vagy a gázárammal mint szállító-közeggel, vagy más módon. Ilyen folyamatos működés esetében a szemcséknek a diffuzorból való eltávozása az egyedi lebegtetési tulajdonságoknak az érintkeztetés során történő megváltozása miatt következik be. Az egyes szemcsék tartózkodási ideje emiatt egymástól eltérő.

Értelmezésünk szerint tehát szemcsés anyaghalmaz és gázáram érintkeztetésének azt az esetét tekintjük lebegtetésnek, amikor egy meghatározott szemcsefrakció minden egyes szemcséjét egyidejűleg tesszük ki a reá jellemző lebegési sebességintervallumnak. Ilyen értelmzés szerint pl. az ún. Aradi-Ribiánszky-féle lebegtető szárító valóban lebegtető rendszerű szárító, pontosabban lebegtetett rétegű szeparáló szárító. De pl. Filka laboratóriumi lebegtető készüléke inkább eső-rétegű szeparáló készüléknek nevezhető; úgyszintén a „lebegtető szárító” továbbfejlesztett típusa is már inkább belső-recirkulációs eső-rétegű szeparáló szárító.

Összefoglalva: A szakirodalom gyakran nem tesz különbséget a *lebegtetés és fluidizáció* szóhasználat között. Mindkettővel lehet találkozni a szemcsés anyagok és gázáram érintkeztetési módjainak gyűjtőfogalmaként, és ezen belül adott mozgásvizonylatok meghatározására is alkalmazzák – nemegyszer felcserélve.

A pontos definiálást megnehezíti, hogy egyik jelenség sem állítható elő tisztán, a másiktól elkülönítve, e szemcsés halmazok szemcseméret-eloszlásának jellegéből következően.

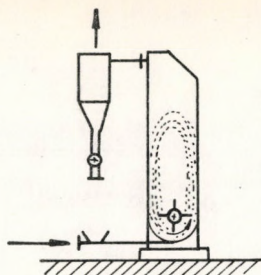
Értelmezésünk szerint lebegtetéses eljárásnak a szemcsés halmaz és gázáram érintkeztetésének azt az esetét tekintjük, amikor egy meghatározott szemcsefrakció minden egyes szemcséjét egyidejűleg tesszük ki a reá jellemző lebegési sebességintervallumnak. Mivel pedig, a gyakorlatban ez csak bővülő keresztmetszetű készülékben (diffuzorban) lehetséges, ezért a lebegtetéses eljárás jellemző készülékének a diffuzort tartjuk.

Lebegési határsebességre beállított párhuzamos falú készülékek (függőleges cső) esetében ugyanis a szemcsés halmaz szeparálása áll elő, amely részben pneumatikus szállítást, részben eső-rétegű eljárást eredményez.

### 3. Eső-rétegű szeparáló szárító kialakítása és leírása

A készülék (2.20 ábra) az ún. lebegtető szárítótól annyiban tér el, hogy míg utóbbinál a száradó töltet „lebegtetését” a szárítóközeg látja el, addig itt ezt egy röptőszerkezet – a recirkulációs adagoló – végzi. A szárítandó anyag a szárítóközeggel jut a készülék aljába, ahol a recirkulációs adagoló az anyagszemcséket felgyorsítja és a szeparáló toronyba repíti. Az így felrepített anyagáramból a szárítóközeg a már megszáradt, könnyű szemcséket magával viszi és a ciklonban leülepti. A felrepített nehéz és nedves szemcsedarabok visszahullanak a készülék aljába és a recirkulációs adagoló segítségével mindaddig végzik ezt a ballisztikus pályán való mozgást, amíg megszáradnak. Azokat a vastag szecskadarabokat, amelyeket a szárítóközeg egészében, megszáradva sem képes kiválasztani a töltet-halmazból, a recirkulációs adagoló összetöri, miáltal a szeparálás megtörténhet. A recirkulációs adagolónak e funkciója által elkerülhető a töltet „kiszáradása”, ami a lebegtető szárítónál kedvezőtlenül befolyásolta a fajlagos hőfelhasználást, korlátozta a szárítóközeg hőmérsékletét és áramlási zavarokat (lengéseket) okozott.



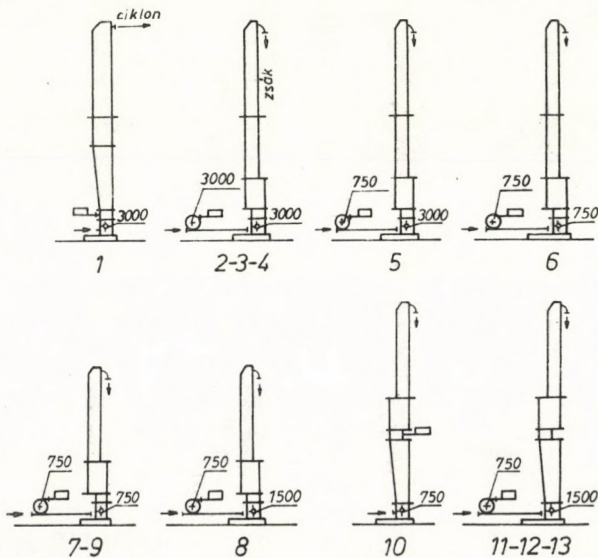


2.20. ábra

Belső körfolyamú esőrétegű szeparáló szárító

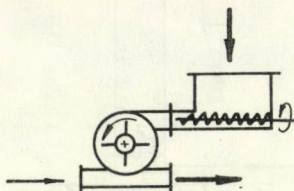
A kísérletek során azonos méretű recirkulációs adagolót alkalmaztunk, csak a fordulatszámát változtattuk. A recirkulációs adagolónak a légáramlás irányára merőleges mérete  $\square 183 \text{ mm}$  ( $f = 0,026 \text{ m}^2$ ). Ehhez különféle alakú-, keresztmetszetű- és magasságú szeparáló torony csatlakoztatható. Az eddigi kísérletek során alkalmazott torony-variációkat a 2.21. ábra szemlélteti.

A szárítókészülék adagoló vezetője 54 mm átmérőjű, aminél nem egy esetben hosszabb a bevezetendő nyersanyag szecskamérete. A dugulásmentes adagolás biztosítása érdekében speciális adagolószerkezetet kellett kidolgozni, amelynek vázlatát a 2.22. ábra szemlélteti. A csigás adagoló által továbbított anyagdugóból a szóró-adagoló mintegy szálanként lefejt a szecskaszemcséket, ezeket körpályán felgyorsítja és a szállítócsőbe repíti. A készülék a nyersanyagnak dugulásmentes betáplálása mellett légzáró, vagyis túlnyomásos rendszerrel előnyösen alkalmazható. Megfelelő méretezés esetén a csiga szállítócsővének keresztmetszete jóval nagyobb lehet, mint a pneumatikus szállítócsőé. Mivel ez a készülék mennyiségi adagolásra nem alkalmas, erre a célra még egy külön mennyiségi adagolót kellett szerkeszteni (2.23. ábra).



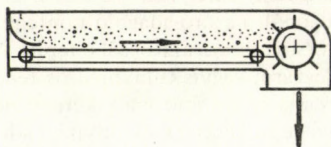
2.21. ábra

Készülék-variációk



2.22 ábra  
Nyersanyag adagoló készülék

Ezzel a nedves szecska továbbítása tág határok – 5 . . 200 kg/ó között változtatható, a kísérletek mindenkori követelményei szerint. A mennyiségi adagoló tartozéka még egy pneumatikus szecskaszállító berendezés is; ez olyan esetekben szükséges, amikor a nedvesanyagnak a szárítóba juttatása magasan történik (pl. 2.21 ábra 10. változata) és az anyaghozzávetetés gravitáción nem valósítható meg.



2.23 ábra  
Adagolás szabályozó készülék

A szárítókészülék hőellátásához léghevítőt készítettünk villamos fűtőcsövek felhasználásával, valamint nagyteljesítményű porszívó-ventillátor alkalmazásával. Ezzel a léghevítővel + 50 C° és + 600 C° között tudunk meleg levegőt biztosítani a szárítókészülék számára, 35 C°-os lépcsőzéssel.

A szárítókészülékhez több részből összeállítható előszárító-cső is tartozik, amely szükség szerint 1 . . 18 fm hosszúságban állítható össze, 1 m-es lépcsőzéssel.

#### a. Kísérleti eredmények eső-rétegű szeparáló szárítóval

Az 1973-76 között készült nagylabor-méretű kísérleti berendezések mérései a szeparáló szárító funkcionális- és optimálási méréseire terjednek ki, valamint ezt követően a szeparáló szárító és az előszárító cső kombinációjának méréseire. A szeparáló szárító funkcionális méréseinek eredményeit a 2.3 sz. táblázat tartalmazza.

Összehasonlítható méréseket tartalmaz az 1.-től 5.-ig terjedő méréssorozat, mikoris a recirkulációs adagoló fordulatszáma azonos volt. Ebben a mérési sorozatban kiemelkedően jó a fajlagos hőfelhasználás darált-, vagyis zúzott finomszecska esetében (2. és 3. mérés) a csak szecskázotthoz képest. Figyelemre méltó, hogy a 7 mm-es rostával darált lucerna (3. mérés) eredményezte a legjobb fajlagos hőfelhasználási értéket (765 kcal/kg), holott ez az anyag a centrifugálás következtében előfennyasztottnak számít.



A szecskázott fű a recirkulációs adagoló 3000/perc fordulata mellett minden esetben erősen vattásodott és elsősorban ez okozta a kedvezőtlenebb eredményeket. Vattásodás alatt azt a folyamatot értjük, amikor a recirkulációs adagoló a szecska-szálakat mintegy megkártolja és elemi rost-szálakra bontja. Ezek a szálak közben filcelődnek is és csomókba állnak össze. Az ilyen vattacsomók térfogatsúlya igen kicsi —  $24,5 \text{ kg/m}^3$  — és még megszáradás előtt távoznak a szárítótérből.

A további mérések tapasztalatai szerint a vattásodás a hőmérséklet növelésével, vagy (és a recirkulációs adagoló fordulatainak csökkentésével) jelentősen mérsékelhető.

A 6. és 7. sz. mérésnél ( $n_{\text{rec}} = 750$ ) a vattásodás már nem volt számottevő és a fajlagos hőfelhasználás is megközelítette  $784\text{--}842 \text{ kcal/kp}$  értékével a zúzott finomszecskánál elértet. A fenti tapasztalatok, valamint a 8. mérés ( $n_{\text{rec}} = 1500$ ) eredményei alapján arra következtetünk, hogy az adott  $180\text{--}270^\circ\text{C}$  hőmérséklet-tartományban a recirkulációs adagoló fordulatszámának optimuma van a fajlagos hőfelhasználás értékére nézve.

Fű-szecskával végzett utolsó (9. sz.) mérésünkénél a recirkulációs adagoló alacsony fordulatszám mellett növeltük a szárítóközeg hőmérsékletét a korábbiakhoz képest. Az alkalmazott motor teljesítménye azonban kicsinek bizonyult. Így ez a mérés összehasonlításban nem értékelhető. Ugyanez volt a helyzet a 10 sz. mérésnél lucerna-szecska esetében is.

A 11. -12.- és 13. mérésnél növelt fűtést (hőmérsékletet) alkalmaztunk, de növeltük a recirkulációs adagoló fordulatszámát is  $1500/\text{perc}$ -re. Ezeknél a méréseknél most már lucernával is tapasztaltuk, hogy a vattásodás a hőmérséklet növelésével csökken. Rossz minőségű —  $2 \dots 8 \text{ cm}$  hosszúságú — szecska esetében a végtermék még szecskaszerű maradt. A 13. sz. mérésnél  $826 \text{ kcal/kp}$  fajlagos hőfelhasználási érték volt elérhető; és a nagylaborméretű kísérleti készülék  $14,06 \text{ kg/ó}$  vízpárologatással  $420 \text{ kg/m}^2\text{ó}$  fajlagos vízpárologtató teljesítményt eredményezett,  $286^\circ\text{C}$ -os szárítóközeg-hőmérséklet mellett.

Száritótorny-variációkkal végzett mérések eredményei

2.3. táblázat

Beállítási adatok					A nyersanyag jellemzése	Mérés tartam perc	Víz- pár. telj.kp/ó telj.kp/m <sup>2</sup> ó kcal/kp	Fajl. vizep. hőfelh.	Fajl.	A szárított anyag jellemz.
Mé- rész.	Fűt. kW	Lev. Co	Be Rec. ad. (perc)	Szóró ad. (perc)						
1.	7,5	3,0	180	3000	3000	Fűszecska, friss, 8-30 cm	70,00	5,57 166	1158	Erősen vattás, por tulsz., vatta nedv.
2.	6,0	5,0	243	3000	3000	Fű, friss, darálva, 25 mm	26,00	6,48 193	796	Vattás, szálak 6,6-7 %, por 6-6,2 %
3	6,0	1,0	265	3000	3000	Lucerna, darálva, 7 mm- fugálva	51,75	6,74 201	765	Ömlékeny, egyenletes anyag
4	6,0	1,25	255	3000	3000	Fű, friss, 2/3 darálva 1/3 szecska, 25 mm	44,0	5,73 171	900	Vattás, por, száraz, vatta nedves
5	6,0	1,0	270	3000	750	Fű, friss, szecska, 2-4 cm	72,16	5,07 151	1018	Vattás, nedv. vattakidobás, teljes csökk.
6	6,0	2,5	198	750	750	Fűszecska, friss, 2-4 cm	41,00	6,13 183	842	Szecska, nem vattás, egyenl. szár
7	6,0	2,0	209	750	750	Fűszecska, kézi, friss, 2-4 cm	38,33	6,58 196	784	Szecska, kissé vattás
8	6,0	1,25	250	1500	750	Fűszecska, kézi friss, 2-4 cm	43,51	5,90 176	874	Vattás, száraz: csak telj. csökkentéssel
9	13,5	2,0	295	750	750	Fűszecska, kézi, friss, 2-4 cm	12,20	12,54 374	926	Száraz, rec. ad. lefullad, túlterhelt
10	9,0	3,0	180	750	750	Luc. szecska, friss,	28,66	6,59 197	1174	Száraz, rec. ad. leáll. nem folyamat
11	10,5	2,0	255	1500	750	Luc. szecska, friss, 2-8 cm	37,16	10,13 302	891	Kissé vattás, száraz
12	13,5	2,25	280	1500	750	Luc. szecska, friss, „drótos” 2-18 cm	25,16	12,28 366	945	Kissé vattás, túlszár. csiga eltömőd
13	13,5	2,25	286	1500	750	Luc. szecska, kézi 2-8 cm	23,75	14,06 420	826	Szecska, száraz



A fentiek alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

A szárítóközeg-hőmérsékletet a mérések során  $286^{\circ}\text{C}$ -ig fokoztuk. A mérések megkezdése előtt ezt tartottuk az előszárító-cső nélküli lebegtető szárítónál alkalmazható maximális hőfoknak, mert a korábbi (üzemi) lebegtető szárítóban az anyagtöltet ekkor már pörkölődött. Mostani tapasztalataink szerint azonban feltételezzük, hogy a bemenő-levegő hőmérsékletét jelentősen  $280^{\circ}\text{C}$  fölé lehet növelni előszárító nélkül is. Ez annak a következménye, hogy a recirkulációs adagoló megszünteti a régebbi típusnál tapasztalt töltet-kiszáradást ill. a vastag-, nehéz szecskadarabok akkumulálódását a töltetben. Feltételezhető, hogy kísérleti készülékünknel a hőfok-növelésnek nem a száradási viszonyok-, hanem a forgó alkatrészek hőigénybevétele szab határt.

A fajlagos hőfelhasználási értékek a mérések egészét tekintve nagyon kedvezőek, figyelemmel az eddig alkalmazott alacsony hőmérsékletekre. Mivel  $286^{\circ}\text{C}$ -on  $826\text{ kcal/kg}$  volt a  $2 \dots 8\text{ cm}$  hosszúságú lucerna szecska szárításának fajlagos hőfelhasználása, ebből arra következtetünk, hogy a hőmérséklet növelésével ez a mutató  $800$  alá csökkenthető, még előszárító nélkül is.

Az elért  $-420\text{ kg/m}^2$  - fajlagos felületi vízpárolgató teljesítmény jobb, mint a korábbi típusú lebegtető szárítóté. A fajlagos térfogati vízpárolgató teljesítmény pedig, amit a mostani kísérleteknél eddig elértünk, megegyezik a dobszáritókéval, amelyeknél azonban  $800 \dots 1000^{\circ}\text{C}$ -on üzemelnek.

A recirkulációs adagoló alkalmazásával a töltet „lebegtetését” már nem a szárítóközeg végzi, ezért a szükséges légnyomás jelentősen csökkent; a töltetfelhalmozódás kiküszöbölése miatt pedig ún. kifuvató levegőre sincsen szükség, ami a korábbi típusnál nehézségeket okozott.

A fentiek alapján várható, hogy belső körfolyamú esőrétegű szeparáló szárítókészülékünk az eddig alkalmazott  $286^{\circ}\text{C}$  bemenő hőmérséklet növelésével jelentősen kisebb méretű szerkezetet eredményez, mint egy azonos teljesítményű dobszáritó.

#### 4. Összefoglalás

A zöldtakarmányok világszerte alkalmazott (gyors-) szárítási módszerének gazdaságossága tovább fokozható. Ehhez azonban úgy a betakarítási technológia-, mint a szárítási eljárás megváltoztatására ill. fejlesztésére van szükség.

A lucernaszecska egy polidiszperz szemcsehalmaz, amelynek a kíméletes szárítása csak a szemcsék egymástól eltérő hőkezelésével valósítható meg. Erre a célra a bolygatott rétegű szeparáló szárítók alkalmasak. Ilyen szárítók pl. a lebegtető-, a gejzír- és a belső körfolyamatú esőrétegű szárító.

Az első hazai kialakítású lebegtető szárítót a szakirodalom Aradi-Ribiánszky féle lebegtető szárító néven ismerteti. A lebegtető szárító tornyában a diffúzoron keresztül érkező szárítóközeg sebessége lecsökken annyira, hogy a még meg nem száradt anyagrészek visszahullanak, és addig végzik örvénylő-lebegő mozgásukat, amíg megszáradva távoznak a szárítótérből. A száraz szemcsék szeparálása itt messzemenően biztosítva van.

A lebegtető szárító kétségtelen előnye mellett azonban jelentős hiányosságokkal is bír. A diffúzorban ugyanis egyrészt nem tartható lebegő állapotban – elfogadható légnyomásviszonyok mellett – az a mennyiségű töltet, ami a kedvező kalorikus hatások eléréséhez szükséges; másrészt pedig a szárítóba a takarmánnyal együtt belekerülnek olyan vastag szárdarabok is, amelyek teljesen megszáradva sem képesek a diffúzorból távozni. E hátrányok kiküszöbölése végett részletesen elemezzük a szárító diffúzorának működését és az előszárító csővezetékét.

A töltet mennyiségének számszerű elemzésével kimutattuk, hogy adott nyomásvesztés mellett diffúzorban a gyakorlatilag lebegtethető anyagmennyiség lényegesen kisebb, mint ez teoretikus esetben számítható. Ennek oka főleg a töltet lengéseiben keresendő.

A lebegtető diffúzorban a szilárd-anyag koncentráció igen kicsi és ennek megfelelően az ömlesztett rétegvastagság is csekély.

A szárító diffúzor működése egyértelművé válik akkor, ha figyelembe vesszük, hogy elméleti vonatkozásban két lebegési sebesség-görbével állunk szemben a szárításkor, amelyek a nedves



és a szárított anyag görbéi. Zöldtakarmányoknál ez a két sebesség-görbe egymás alá- ill. fölé csúszik; aminek következtében lehetetlen a nedves anyag teljes mennyiségét a diffúzorban tartani anélkül, hogy a szárított anyagnak egy része is ne maradjon benne; ill. lehetetlen a szárított szemcséket maradéktalanul kihordani anélkül, hogy bizonyos mennyiségű nedves anyagot is ne távolítanánk el.

A lebegtető szárító gazdaságos működését jelentősen befolyásolja az előszárító csővezeték kialakítása ill. az ebben található anyagmennyiség.

A lebegtetéses eljárás fejlesztése szükségessé tette az eljárás értelmezésének tisztázását is. A szakirodalom ugyanis gyakran nem tesz különbséget a *lebegtetés és fluidizáció* szóhasználat között. Értelmezésünk szerint lebegtetéses eljárásnak a szemcsés halmaz és gázáram érintkeztetésének azt az esetét tekintjük, amikor egy meghatározott szemcsefrakció minden egyes szemcséjét egyidejűleg tesszük ki a reá jellemző lebegési sebesség-intervallumnak. Mivel pedig a gyakorlatban ez csak bővülő keresztmetszetű készülékben (diffuzorban) lehetséges, ezért a lebegtetéses eljárás jellemző készülékének a diffuzort tartjuk. Lebegési határsebességre beállított párhuzamos falú készülékek (függőleges cső) esetében ugyanis a szemcsés halmaz szeparálása áll elő, amely részben pneumatikus szállítást, részben eső-rétegű eljárást eredményez.

A belső körfolyamú eső-rétegű szeparáló szárító a lebegtető szárító tapasztalatain és elemzésén keresztül valósult meg. Ezidő szerint nagylabor méretű példánya üzemel. A készülék a lebegtető szárítótól annyiban tér el, hogy míg utóbbinál a száradó töltet „lebegtetését” a szárítóközeg látja el, addig itt ezt egy röpitőszerkezet — a recirkulációs adagoló — végzi. A szárítandó anyag a szárítóközeggel jut a készülék aljába, ahol a recirkulációs adagoló az anyagszemcséket felgyorsítja és a szeparáló toronyba repíti. Az így felrepített anyagáramból a szárítóközeg a már megszáradt könnyű szemcséket magával viszi és ciklonban leülepíti. A felrepített nehéz és nedves szecskadarabok visszahullanak a készülék aljába és a recirkulációs adagoló segítségével mindaddig végzik ezt a ballisztikus pályán való mozgást, amíg megszáradnak. Azokat a vastag szecskadarabokat, amelyeket a szárítóközeg egészben megszáradva sem képes kiválasztani a töltet-halmazból, a recirkulációs adagoló összetöri, miáltal a szeparálás megtörténhet.

Az 1973-76 között készített belső körfolyamú eső-rétegű szeparáló szárító nagylabor-méretű példányával végzett funkcionális és optimálási kísérletek eredményei igen kedvezőek. A recirkulációs adagoló működése által elkerülhető a töltet „kiszáradása” ami a lebegtető szárítónál kedvezőtlenül befolyásolta a szárítóközeg hőmérsékletét és áramlási zavarokat (lengéseket) okozott. A mérések során a fajlagos hőfelhasználást, az alkalmazható szárítóközeg-hőmérsékletet, a fajlagos készülék-keresztmetszeti és térfogati vízpárologtató teljesítményt — és légnyomás szükségletet vizsgáltuk. Ennek eredményei alapján már a nagylaborméretű készüléknél is megállapítható, hogy az eső-rétegű szeparáló szárító a lebegtetéses eljárás előnyeinek megtartása mellett, még alacsony szárítóközeg-hőmérséklet mellett is eléri, sőt egyes vonatkozásokban meghaladja a dobrendszertől szárítás paramétereit. Szerkezeti szempontból jelentős, hogy az eső-rétegű szeparáló szárító üzemi példánya várhatóan jelentősen kisebb méretű szerkezetet eredményez, mint egy azonos teljesítményű dobszáritó.



## IRODALOM

- ( 1 ) ARADI, E. (1953.): Gyorsszáritó készülék és berendezés. Szekértőijelentés. FM. Budapest.
- ( 2 ) FILOLENKO, G.K. — LEBEDEV, P.D. 1960.): Einführung in die Trockentechnik. VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
- ( 3 ) ARADI, E. — RIBIÁNSZKY, M. (1967.): Száritótorony belső körfolyamú lebegtető gyors-száritóhoz. Magyar szabadalom, 156 523 sz.
- ( 4 ) PÁPAI, L. (1967.): Fluidizációs szállítás. BME-közlemények VG-6 Budapest.
- ( 5 ) ARADI, E. (1967.): Lebegtető száritó fejlesztett típusának kialakítása. MGI tanulmányok 10. Budapest.
- ( 5 ) HENK, G. — LAUBE, W. (1968.): Untersuchungen zur Heisslufttrocknung von Grünfütter. Rohnährstoff und Karotinverluste; Verluste an verdaulichen Nährstoffen. Archiv für Tierernährung, Heft 5.
- ( 7 ) PÁPAI, L. (1969.): Pneumatikus szállítás és rakodás gépi berendezései. OMFB tanulmány U-506-T. Budapest.
- ( 8 ) BLICKLE, T. — TAKÁCS, G. (1969.): Gyógyszerkészítési műveletek és eljárások; Száritás, Fluidizáció, Lebegtetés MTA-MÜKKI tanulmány Veszprém.
- ( 9 ) HENK, G. — LAUBE, W. (1969.): Untesuchungen zur Heisslufttrocknung von Grünfütter. Ursachen und Kennzeichnung der Verdaulichkeitsminderung. Archiv für Tierernährung, Heft 4.
- (10) SCHNEIDER , A. (1969.): Untersuchungen über das Trocknungsverhalten von Luzerne und Zuckerrübenblatt in Einzelschichten und durchströmten Schüttungen. Wärme. Band 69, Heft. 3.
- (11) RETTIG, H. — DRÄGER, J. (1970.): Verweilzeitmessung an Trommeltrocknern der Landwirtschaft mit radioaktiven Nukliden. Deutsche Agrartechnik, Heft 3.
- (12) SIEGEL, W. (1970.): Experimentelle Unterschungen zur pneumatischen Förderung. VDI-Verlag, Düsseldorf.
- (13) ARADI, E. (1974.): A száradó réteg fogalma és meghatározása pneumatikus csőszáritónál. ATEK közlemények 1. sz. Mosonmagyaróvár.
- (14) NÉMETH, J. — PALLAI, E. (1974.): Bolygatott halmazú szemcsés anyagok száritásának elmélete. Száritási kézikönyv Műszaki Kiadó, Budapest.
- (15) ARADI, E. — VARGA, J. (1975.): Körfolyamú lebegtető száritó konstrukció és kísérleti eredményei. CHISA-75, Prága.
- (16) FILKA, J. (1975.): A lebegtetéses eljárás áramlástanai viszonyainak tanulmányozása. MTA-MÜKKI témabeszámoló. Veszprém.

- (17) LEVA, M. (1975.): Fluidizáció. Műszaki Könyvkiadó. Budapest.
- (18) ARADI, E. — VAJK, J. (1975.): Az energiafelhasználás csökkentésének lehetőségei a zöldtakarmány szárítóknál. MGI-tanulmány 4.43.43.992.45. sz. Gödöllő.
- (19) ARADI, E. (1975.): Az egyidejűleg lebegésben tartható anyagmennyiség meghatározása lebegtető szárítóban. ATEK közlemények 1. sz. Mosonmagyaróvár.
- (20) PALLAI, E. — ARADI, E. — MONOSTORI, E. — FODOR, F. (1976.): Különféleképpen előkészített lucernaszecskák száradási viszonyainak laboratóriumi mérése és vizsgálata. Szakértői jelentés MGI 2.11.43.003.67 sz. Gödöllő.
- (21) ARADI, E. — PALLAI, E. (1977.): Lebegtető rendszerű szárítás vizsgálata és körfolyamú lebegtető szárító kialakítása. ATEK-MŰKKI témabeszámoló, Budapest-Mosonmagyaróvár.



### III. FEJEZET

PALLAINÉ VARSÁNYI ERZSÉBET

#### SZÁRÍTÁSI KÍSÉRLETEK GEJZÍR–RENDSZERŰ SZÁRÍTÓ KÉSZÜLÉKKEL

#### BEVEZETÉS

A gejzír-eljárás a fluidizációs eljáráshoz hasonlóan az ún. „bolygatott rétegű” intenzív eljárások közé sorolható. Az intenzív jelleget a jó hő- és anyagátadási viszonyok adják meg, az átadási felületeket növelő hatások, az érintkeztetett fázisok egyenletes, nagyobb felületű áramoltatása, a fluidum megnövelt áramlási sebessége eredményeként. Alapelvét és a készülék konstrukciót a feltalálók (1) első ízben 1954-ben ismertették. Az általuk kidolgozott új eljárással elsődlegesen a folyamatos, hatékony búza és kukorica szárítás megvalósítása volt a cél, vagyis a fluidizáció előnyeivel (egyenletes hő- és koncentrációeloszlás, jó szemcsekeveredés, stb.) rendelkező olyan eljárás kidolgozása, mellyel az egyenletes fluidizációs szemcsemozgás kialakulásához már túl nagy szemcsék is intenzív érintkezésbe hozhatók a rétegen áramló fluidummal. Az első tanulmányt 1955-ben két újabb követte. Ezekben a szerzők a gejzíres eljárás áramlástanai viszonyairól (2), ill. a gabonamagvak szárításáról (3) számolnak be. Munkájukkal megvetették az általuk szabadalmaztatott (4) eljárás alapjait és a hőre érzékeny nagyszemcsés anyagok szárításával megjelölték az alkalmazási lehetőségek egyik legfontosabb irányát.

#### 1. A gejzír-eljárás általános ismertetése

A jellegzetes gejzíres rétegmozgás az alapszabadalom szerint készülék-konstrukció esetén a kúpos készülék-aljba szűkített nyíláson (fúvókán) keresztül bevezetett gázsugárral alakítható ki. A készülék-aljba belépő nagysebességű gázsugár a réteg belsejében függőleges irányú gázcsatornát képez, melyben a gázsugár által a beáramlási hely környezetéből magával ragadott szemcsék felfelé áramlanak; az oldalirányú gázkiáramlás következtében a szemcséket szállító gáz sebessége a csatorna magassága mentén egyre csökken, egy meghatározott szállítási magasságban eléri a szemcsék lebegési határsebességét. E gázsebesség környezetében, ill. az ennek megfelelő rétegmagasságnál a szemcsék visszahullanak és a csatorna körül, annál tömörebb héjgyűrűt alkotva a készülék-alj felé áramlanak. A készülék-aljba belépő nagysebességű gázsugár ismét a gejzíres gázcsatornába ragadja a szemcséket és felfelé szállítja. A szemcsék tehát a rétegen belül állandó „körforgalomban” vannak. E jellegzetes szemcsecirkuláció során intenzív érintkezés jön létre a szilárd- és a gázfázis között, elsősorban az örvénylő áramlással jellemezhető gázbevezető fúvóka környezetében, majd az egyenáramú szakasznak tekinthető gázcsatornában, valamint a csúszó héjgyűrűben, melyben a gáz a szemcsékhez képest kereszt-, ill. ellenáramban halad keresztül.

A gejzír-eljárás egyik legfontosabb előnye mind a csúszó, mind pedig a pneumatikus rendszerekkel szemben a jellegzetes belső szemcsecirkuláción alapszik. Amíg ugyanis az említett eljárások esetén szemcsék csúszási sebességét-, ill. a szállítócsőben a szilárd-gáz koncentrációt a kötött gáz-szilárd adagolási arány szabja meg, addig ezek a gejzír-eljárásnál a belső szemcsecirkuláció szabályozhatósága révén az átadási optimumnak megfelelően beállíthatók. A fluidizációval szemben előnyként említhető meg, hogy azonos rétegmagasság esetén és azonos gázbetáplálásnál a gejzír-készülékben 20-30 %-kal kisebb a szemcse-halmazon átáramló levegő nyomásesése. A készülék-aljba belépő nagysebességű levegő (fluidum) olyan szemcsés, darabos,



ragadós, tapadós anyagok egyenletes recirkulációs mozgását is fenntartja, mely anyagok fluidizációs készülékben megfelelően nem mozgathatók.

Az egyszerű készülékkonstrukció, a folyamatos üzemeltethetőség, az intenzív átadási viszonyok és ezáltal a kis készülékméret, az egyenletes hőmérséklet és koncentráció-eloszlás, valamint a gáz-szilárd rendszer szabályozhatósága számos esetben előnyös alkalmazási lehetőséget biztosít.

A réteg gyors keveredése egyenletes koncentráció és hőmérséklet eloszlást eredményez. A gejzír-rétegben ezért hőre érzékeny anyagok, pl. gyógyszerkészítmények, műanyaggranulátumok és őrlmények, vegyipari termékek és mezőgazdasági termékek (vetőmagok, gabonafélék, olajos magvak, stb.) valamint élelmiszeripari termékek a helyi túlhevülés veszélye nélkül száríthatók, hűthetők, melegíthetők.

#### a. A gejzír-réteg kísérleti kialakítása

A gejzír-réteg kialakításának feltételei között, a hagyományos, tehát gázbevezető fúvókával ellátott készüléket tekintve, fontos szerepet játszanak a szilárd fázist alkotó részecskék alakja, fajsúlya, felületi tulajdonságai, továbbá, adott készülékméret (keresztmetszet) esetén a szemcsék mérete (méreteloszlása), a gázbevezető fúvóka keresztmetszete, vagyis a  $d_k/d_{sz}$  – készülékátmérő: szemcseátmérő és a  $d_k/d_o$  – készülékátmérő: szemcseátmérő – arányok.

A csúszórétegű mozgás szempontjából a gördülékeny, legömbölyített élű hosszúka vagy gömbalakhoz közelálló részecskék előnyösek. A gejzír-rétegre jellemző egyenlőtlen keresztmetszeti gázsebesség igen kis fajsúlyú részecskék esetében a héjgyűrű lazább szerkezete révén egyenletessé válik, vagyis hasonlóvá a fluidizált réteg gázeloszlásához, ami a gejzír-csatorna bizonytalan kialakulásához vezethet. Tapadó, ragadó szemcsék ugyancsak nehezítik a csúszórétegű mozgást a készülékfal mellett.

A szemcseméret ( $d_{sz}$ ) hatása is jelentős a gejzír-réteg kialakulására kísérleti eredmények (1), (5) alapján a gejzír-készülék átmérőjét ( $d_k$ ) a

$$\frac{d_k}{d_{sz}} = 25 \dots 200 \quad (3.1)$$

határokon belül célszerű megválasztani.

A gázbevezető fúvóka nyílás-átmérője –  $d_o$  – a hagyományos kialakítású gejzír-készülék egyik legjellemzőbb adata, ill. ami összehasonlításra alkalmasabb, a  $d_k/d_o$  arány. Anyagátadási vizsgálatok során  $d_k/d_o = 6 \dots 10$  arány mutatkozott előnyösnek. A fúvóka-nyílás átmérőjének csökkentése ugyanis fokozza a fúvókanyílás körüli örvényhatást, vagyis gyorsítja az átadási folyamat szempontjából fontos belső szemcsecirkulációt. A csúszó héjgyűrűben végbemenő, ugyancsak előnyösnek mondható ellenáramú gáz-szilárd érintkezés ugyanakkor függ a héjgyűrűn átáramló gáz mennyiségétől. Ez utóbbi viszont a  $d_o$  – átmérő növelésével fokozható. A két ellentétes értelmű hatással magyarázható a  $d_k/d_o = 6 \dots 10$  értékek közötti optimum alakulása.

Adott készülékméret ( $d_k$ ) és gázbevezető fúvóka nyílásméret ( $d_o$ ) esetén egy meghatározott maximális rétegmagasságnál nagyobb rétegben már nem alakulhat ki a gejzíres szemcsemozgás. A rétegmagasság mentén a fokozatosan bővülő gázcsatorna keresztmetszete ugyanis egy meghatározott magasságnál megközelíti a készülék keresztmetszetét, gátolva a csatorna körül a csúszó héjgyűrű kialakulását.



### b. A gejzír-készülék méretezési vonatkozásai

A gejzír-készülék méretezése, valamint az üzemeltetési körülmények helyes megválasztása szempontjából fontosak a következőkben tárgyalt eljárási és készülékjellemzők, ill. ezek összefüggései.

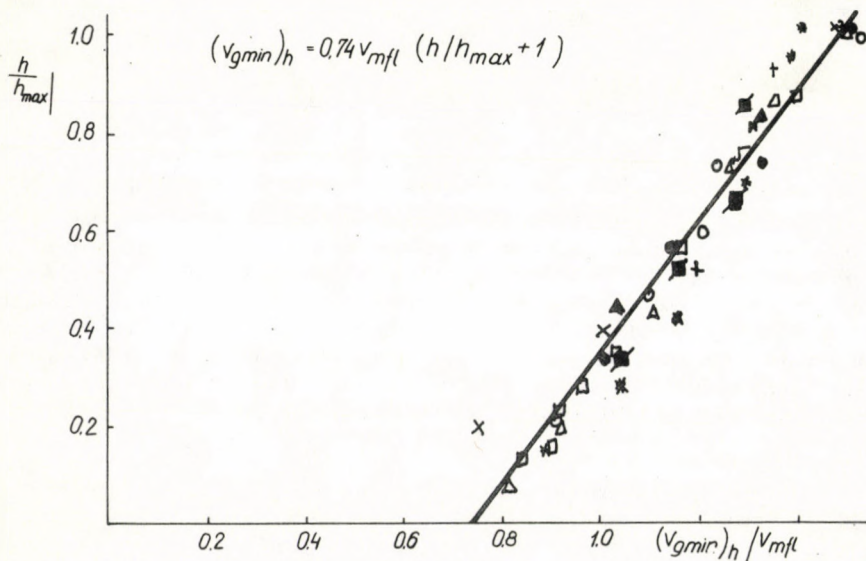
A gejzír-réteg kialakításához szükséges minimális gázsebesség ( $v_{g \min}$ ) egyrészt a gáz és a szemcse tulajdonságaitól, másrészt a készülék geometriájától, valamint a rétegmagasságtól függő változó.

Irodalmi adatokat (6) felhasználva, ill. különböző anyagokkal, eltérő  $d_k/d_0$  készülékarányok mellett végzett kísérleteink eredményei alapján (5) a  $h$ -magasságú réteg gejzíres mozgatásához szükséges minimális gázsebesség ( $v_{g \min}$ ) a következő egyszerű összefüggéssel számítható:

$$(v_{g \min})_h = 0,74 v_{mfl} \left( \frac{h}{h_{\max}} + 1 \right) \quad (3.2)$$

A (3.2) tapasztalati összefüggéssel számolt, valamint a különböző szemcsés anyagokkal és készülékarányok esetén mért adatokat a 3.1. ábra szemlélteti.

Az összefüggésben szerepel az anyag tulajdonságaitól (szemcseméret, fajsúly, alak, stb.) függő minimális fluidizációs gázsebesség ( $v_{mfl}$ ), amelynek értéke a készülék geometriájából és a rétegmagasságtól függetlenül számítható. A különböző anyagfélésekre vonatkozó minimális fluidizációs gázsebességek kísérleti értékei a szakirodalomban részben megtalálhatók. A gejzír-készülék geometriai adatait a maximális gejzírezhető rétegmagasság ( $h_{\max}$ ) veszi figyelembe. Általában kimondható, hogy az áramlástani összefüggések általánosabb érvényű kifejezőmódját nyerjük, ha az összefüggésekben szereplő áramlástani jellemzőket az ún. határállapothoz tartozó megfelelő jellemzők viszonzyszámaként fejezzük ki (pl.  $h/h_{\max}$ ,  $v/v_{\max}$  stb.). Határállapotnak tekinthető a gejzíres



3.1. ábra



mozgásban lévő szemcsehalmaz azon állapota, amelyhez tartozó áramlástani jellemzők (rétegmagasság, gázsebesség, stb.) közül egy vagy több kismértékű megváltoztatása a gejíres áramlási forma megszűnését, ill. más mozgásforma kialakítását idézi elő. Határállapotban van pl. a gejíz-réteg a maximális rétegmagasság ( $h_{\max}$ ) és a hozzátartozó minimális gejíres gázsebesség ( $v_{\text{mg}}^h$ ) $_{\max}$  esetén. Ha ugyanis a  $h_{\max}$ -nál nagyobb a rétegmagasság, vagy  $v_{\text{mg}}^h$  $_{\max}$ -nál kisebb a gázsebesség, a gejíres áramlási forma megszűnik.

A gejíz-eljárás gazdaságosságának vizsgálatához nagy jelentősége van a ventilációs energia-költségeknek, melyek a felhasznált gáz mennyiségéből és túlnyomásából adódnak. Ez utóbbit, a rétegen átáramló gáz áramlási vesztesége – nyomásesése – határozza meg üzemindításkor és a gejíres mozgás fenntartása alatt. Az üzemindításkor jelentkező maximális nyomásesés ( $\Delta P_{g_{\max}}$ ) értéke függ a szemcsehalmaz tömörítetttségétől. Tömör réteg esetén a  $\Delta P_{g_{\max}}$  több mint kétszeres is lehet a már kialakult gejíres mozgásnál fennálló  $\Delta P_g$  – nyomásesésnek. Laza rétegben a  $\Delta P_{g_{\max}}$  közel megegyezik a fluidizált réteg nyomásesésével, vagyis

$$\Delta P_{g_{\max}} \cong \Delta P_{fl} = hg(1 - \epsilon_{\text{mfl}}) (\rho_{sz} - \rho_g) \quad (3.3)$$

A kialakult gejíz-réteg nyomásesése ( $\Delta P_g$ ) meghatározható a fluidizált réteg nyomáseséséhez hasonlóan, ha ismert a gázcsatorna –  $\epsilon_{cs}$  – szabadterfogathányada (7). Ebben az esetben tehát a 3.3 összefüggésben szereplő  $\epsilon_{\text{mfl}}$  helyébe a réteg belsejében kialakuló – sűrűfázisú pneumatikus szállítással modellezhető – gázcsatornára jellemző szabadterfogathányadot kell helyettesíteni.

A gejíres gázcsatorna magassága mentén a szabadterfogathányad értékek – üvegömbökkel és aktívzén különböző szemcseméretfrakcióival végezve a vizsgálatokat (5) – a következőképpen alakulnak: az  $1/h \cong 0,45$  csatornaszintekben (a gázcsatorna alsó, diffuzor-, majd konfuzor alakú szakasza) az  $\epsilon_{cs} = 0,70 \dots 0,85$  értékek között változik, vagyis a szilárdanyag tartalom kicsi. Az  $1/h = 0,45 \dots 0,75$  szintekben (a gázcsatorna állandó keresztmetszetű, középső szakasza) az  $\epsilon_{cs}$  értékek csökkennek, ami a szabadterfogathányad következő kifejezőmódját tekintve:

$$\epsilon_{cs} = 1 - W_{sz} / F_{cs} v_{sz} \quad (3.4)$$

az  $F_{cs}$  csatornakeresztmetszet és a  $v_{sz}$  szemcsesebesség csökkenésével magyarázható. Az összefüggésben szereplő  $W_{sz}$  a gázcsatornában áramló szemcsék térfogati ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) sebességét jelöli. Az  $1/h = 0,75 \dots 1,0$  csatornaszintek között (a gázcsatorna felső-, diffuzor alakú szakasza) a csatornakeresztmetszet bővül, a szemcsesebesség pedig csökken. A két ellentétes hatás eredménye, hogy az  $\epsilon_{cs}$  értéke állandósul. Vizsgálataink szerint (5) közel megegyezik a fluidizált réteggel ( $\epsilon_{fl}$ ), a teljes réteghosszra kiterjedő fluidizációs mozgás kialakulásakor. Méréseink alapján az állandó keresztmetszetű középső csatornaszakaszra ( $1/h = 0,45 \dots 0,75$ ) jellemző  $\epsilon_{cs}$  értékek jó megközelítik a teljes csatornahosszra vonatkozó átlagos értéket ( $\bar{\epsilon}_{cs}$ ). Ez utóbbi kísérleti eredményeink szerint kezdeti gejíres körülmények között:

$$\frac{v_B}{v_{\text{leb}}} < 35 \text{ esetén: } \bar{\epsilon}_{cs} \approx 1,45 \epsilon_{\text{mfl}} \quad (3.5)$$



nagyobb gázsebességeknél:

$$50 > \frac{v_B}{v_{leb}} = < 35 \text{ esetén: } \bar{\epsilon}_{cs} \approx 1,25 \epsilon_{mfl} \quad (3.6)$$

A vizsgálatok alapján  $v_B/v_{leb} < 50$  tartományban az  $\bar{\epsilon}_{cs}$  gyakorlatilag független a rétegmagasságtól és csak kismértékben függ a gázbevezető fűvóka nyílásméretétől.

A  $\Delta P_g$  nyomásesés továbbá számítható kísérleti eredményeink és irodalmi adatok felhasználásával nyert következő tapasztalati összefüggéssel is (5):

$$(\Delta P_g)_h = (\Delta P_g)_{hmax} \cdot \frac{h}{h_{max}} \quad (3.7)$$

A  $\Delta P_{hmax}$  —, vagyis a maximális magasságú rétegen átáramló gáz nyomásesése megközelíti a fluidizált rétegét, ill. annak, kb 80 %-a. Az eltérés ettől az értéktől a  $d_k/d_o$  készülékaránytól függ (5):

$$\frac{\Delta P_{hmax}}{\Delta P_{fl}} = 0,8 - m \cdot \frac{d_k}{d_o} \quad (3.8)$$

ahol az  $m = 0,01$ .

A 3.7. összefüggésben szereplő  $h_{max}$  — rétegmagasság a  $\Delta P_{hmax}$  -hoz hasonlóan a gáz és a szemcse tulajdonságaitól, valamint a gejzír-készülék geometriájától függő változó. Számítására felhasználható a (3.2.) összefüggés, amennyiben ismert egy  $h < h_{max}$  rétegmagassághoz tartozó kezdeti gejzíres gázsebesség  $(v_{gmin})_h$  — értéke, valamint az adott szemcsés anyag minimális fluidizációs sebessége  $(v_{mfl})$ . A (3.2.) összefüggés alapján ugyanis a maximális gejzírezhető rétegmagasság:

$$h_{max} = \frac{0,74 h \cdot v_{mfl}}{(v_{gmin})_h - v_{mfl}} \quad (3.9)$$

### c. A szemcsecirkuláció és keveredés, a szemcsetartózkodási időeloszlás

A gejzír-rétegben kialakuló szemcsemozgások jellege és sebessége meghatározza a réteg keveredését, a szemcsetartózkodási időeloszlást, hatással van a hő- és anyagátadásra.

A szemcsecirkuláció sebességét döntően a lassúbb áramlási szakaszban, a héjgyűrűben kialakuló cm/s nagyságrendű csúszási sebesség határozza meg, szemben a gázcsatornában áramló szemcsék m/s nagyságrendű sebességével. A szemcsecirkulációs időt jó közelítéssel megadja a következő összefüggés:

$$\tau_c \approx \frac{h}{v_{sz}} \quad (3.10)$$



Amennyiben a rétegmagasság 0,5...1,0 m, a szemcsék csúszási sebessége a héjgyűrűben 0,01...0,1 m/s határok között van, a cirkulációs idő ( $\tau_c$ ) 5 s...100 s között változhat. Ezekből az adatokból következik, hogy pl. 20 perces szárítási időt feltételezve a szemcsék minimálisan 12-szer, maximálisan pedig 240-szer teszik meg a cirkulációs pályát, ill. ennyiszer kerülnek érintkezésbe a készülékbe beáramló meleg szárítóközzeggel.

A hő- és anyagátadási körülmények ílymódon széles határok között módosíthatók a cirkulációs idő változtatásával, amit a (3.10.) összefüggés szerint a csúszási sebesség növelésével, ill. csökkentésével érhetünk el.

Kísérleti eredmények alapján (5) a szemcsék csúszási sebessége a gejzír-készülékbe betáplált gáz mennyiségével, a rétegmagassággal és a gázbevezető fűvóka nyílásméretével szabályozható a következő tapasztalati összefüggések szerint:

$$v_{szx} = v_{sz} \left( \frac{v_{bx}}{v_b} \right)^{3/2} \quad (3.11.)$$

$$v_{szh} = v_{szh_{max}} \left( \frac{h}{h_{max}} \right)^{1/3} \quad (3.12)$$

$$v_{szx} = v_{sz} \left( \frac{d_o}{d_{ax}} \right)^{2/3} \quad (3.13)$$

A szemcsecirkuláció lehetővé teszi a réteg gyors keveredését. Irodalmi adatok alapján (8)  $\tau = 12 - 47$  min átlagos tartózkodási idő tartományban, 0,9 m rétegmagasság és  $d_k/d_o = 6$  készülékarányok esetén ( $v_{sz} = 0,05$  m/s-ot felvéve a cirkulációk száma 40...156 értékek között mozog) a réteg teljesen kevertnek tekinthető. Következésképpen a szemcsetartózkodási időeloszlás számítható a tökéletes keveredést feltételező

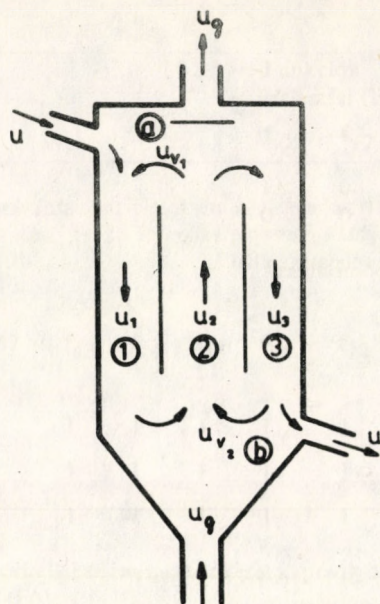
$$\frac{C_r}{C_{ro}} = e^{-\theta} \quad (3.14)$$

összefüggéssel, ahol a  $C_r$ , ill. a  $C_{ro}$  a réteg jelzett szemcse koncentrációt jelzik  $\tau$  ill.  $\tau = 0$  időpillanatokban és  $\theta = \tau / \bar{\tau}$ .

Vizsgálataink alapján azonban a teljes keveredést feltételező összefüggések csak meghatározott, intenzív szemcsecirkulációt biztosító körülmények szűk intervallumában alkalmazhatók a szemcsetartózkodási időeloszlás számítására. A gejzires szemcsemozgás mechanizmusát, így a jellegzetes tartózkodási időeloszlást jobban tükrözi az idealizált dugószerű áramlást feltételező, de a recirkulációt figyelembe vevő fizikai-, és az erre felépített matematikai modell (9).

A fizikai modellt a 3.2. ábrán mutatjuk be.





3.2. ábra

A hengeres körgyűrű két térrészre osztható, melyeknek térfogata

$$V_1 = V_3 = \frac{(R^2 - r^2) \pi l}{2} \quad (3.15)$$

míg a gázcsatornái:

$$V_2 = r^2 \pi l \quad (3.16)$$

A tartózkodási idők az egyes térrészekben tehát:

$$t_1 = \frac{(R^2 - r^2) \pi l}{2 u_1} \quad (3.17)$$

$$t_2 = \frac{r^2 \pi l}{u_2} \quad (3.18)$$

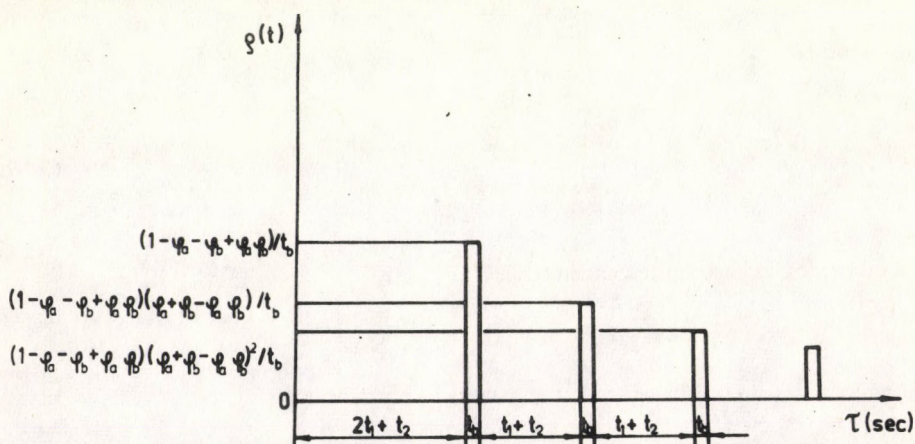
$$t_3 = \frac{(R^2 - r^2) \pi l}{2 u_3} \quad (3.19)$$

A szemcsék  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$  térfogati sebessége a megfelelő térrészekben egyszerű összefüggésekkel számítható, az adagolás  $u$  térfogati sebessége, valamint az  $a$  és  $b$  pontoknál recirkuláló szemcsék  $u_{v1}$  és  $u_{v2}$  térfogati sebessége alapján:

$$\begin{aligned} u + u_{v1} &= u_1 \\ u_1 + u_{v2} &= u_2 \\ u_2 + u_3 + u_{v1} & \\ u_3 &= u + u_{v2} \end{aligned} \quad (3.20)$$

$$S(t) = \frac{1 - \varphi_a - \varphi_b + \varphi_a \cdot \varphi_b}{t_b} \sum_{k=0}^{\infty} (\varphi_a + \varphi_b - \varphi_a \cdot \varphi_b)^k \cdot \left[ \theta[t - 2t_1 - t_2 - k(t_1 + t_2)] - \theta[t - t_b - 2t_1 - t_2 - k(t_1 + t_2)] \right] \quad (3.21)$$

A sűrűségfüggvény lefutását a 3.3. ábra mutatja be.



3.3. ábra



Mint látható, a dugószerű áramlás feltételezése a kimeneti koncentrációban impulzusokat eredményez. Az impulzusok csökkenő amplitúdóval,  $t_1 + t_2$  időnként jelennek meg. A kísérleti eredmények alapján felvett sűrűséggörbe hasonló lefutást eredményez.

### c. A hagyományos kialakítású gejzír-készülék méretnövelési problémái

A fuvókás gázbevezetéssel ellátott gejzír-készülékek a készülék jellemzők, ill. azok arányainak egy meghatározott értékei mellett üzemeltethetők. Ezek az arányok egyben megszabják a készülék méretek felső határát.

A gejzíres szemcsemozgás kialakítása és biztonságos fenntartása szempontjából meghatározó jelentőségűek a  $d_k/d_o$  (készülékátmérő / fuvókaátmérő), valamint a  $d_k/d_{sz}$  (készülékátmérő / szemcseátmérő) arányok, mint arra az előzőekben már utaltunk.

A  $d_k/d_o$  – arány nem választható meg tetszőlegesen a következő okok miatt. Adott  $d_k$  – készülékátmérő mellett a  $d_o$  – fuvókaátmérő csökkentésének elvileg nincs akadálya. Minél kisebb a  $d_o$ , annál nagyobb a készülékbe áramló levegő belépési keresztmetszetre vonatkoztatott sebessége és annál magasabb rétegben alakítható ki a gejzíres mozgásállapot. Könnyen belátható azonban, hogy nem célszerű a  $d_o$  – átmérőt egy bizonyos érték alá csökkenteni, mert egyrészt a gejzíres szemcsemozgás biztosításához szükséges levegő nyomásvesztése a fuvóka nyílásméretének csökkentésével arányosan nő, másrészt ílymódon a szemcsék és a gáz érintkezése egyre inkább a csatornára korlátozódik, ami az átadási folyamat szempontjából kedvezőtlen. A készülékátmérő azonban az optimális  $d_k/d_o = 6 \dots 10$  arány megtartása mellett sem növelhető tetszés szerint, mert a  $d_o$  fuvókaméretnek csak egy meghatározott – szemcsemérettől függő –  $d_o/d_{sz} = 3 \dots 30$  értékig hozható létre gejzíres állapot. Nagyobb  $d_o/d_{sz}$  arány felett szabálytalan „lökдös” fluidizációs mozgás jön létre.

A gejzíres szemcsemozgás létrehozásában egyéb készülékjellemzők mellett döntő jelentősége van a készülékátmérő : szemcseátmérő arány megválasztásának is. Ezt a méretarányt  $d_k/d_{sz} = 25 \dots 200$  határokon belül célszerű tartani, vagyis például 10 mm-es átlagos szemcseméret esetén a maximális készülékátmérő 2 m lehet. Adott szemcseméret esetén (ez az eset áll fenn a szárítási feladatok zömében) az alsó határ olyan készülékátmérőnek felel meg, amelynél a gejzíres gázcsatorna körül a visszahulló szemcséből képződött csúszó héjgyűrűt kialakulásában, ill. mozgásában a készülék fala még éppen nem akadályozza. A felső  $d_k/d_{sz}$  határhoz közeledve ezzel szemben olyan nagy a készülékátmérő- különösen nagyobb szemcsék esetében-, hogy a fuvókás gázbevezetés már üzemeltetési, ill. konstrukciós nehézséget jelenthet. A megnövekedett rétegkeresztmetszet mentén a gejzíres szemcsemozgás kialakításához nagyobb gázmennyiség szükséges. Változatlan fuvókanyílás esetén a gáz betáplálásánál már jelentős az áramlási veszteség. Csökkentve viszont a gázmennyiséget, a jellegzetes szemcsecirkuláció a rétegkeresztmetszetnek már csak egy részére terjed ki. Problémák jelentkeznek akkor is, ha a fuvóka nyílásméretét a készülékátmérővel arányosan megnöveljük. A gejzír-képződéshez szükséges gázmennyiséget ebben az esetben már a szemcsék méretéhez képest olyan nagy keresztmetszet mentén vezetjük a rétegbe, hogy a gejzíres gázcsatorna kialakulása helyett fluidizációhoz hasonló rétegmozgás tapasztalható.

A *gejzír-készülék magasságát* az a maximális réteghossz szabja meg, amely még gejzíres mozgásállapotba hozható. A gejzíres eljárással mozgatható szemcsehalmaz magassága a fluidizációs berendezésekhez alkalmazható rétegmagasság többszöröse is lehet. A szemcsés anyagokkal, első sorban mezőgazdasági magvakkal végzett kísérletek alapján a készülékmagasság a készülékátmérő 6...16-szerese, a fuvókamérettől függően, vagyis  $H_k = (6 \dots 12)d_k$ . Ez a készülékmagasság magába foglalja a kúpos aljat és a szemcsés réteg feletti légteret is.



A hagyományos-fűvókás- kialakítású gejzír-készülék méretnövelése a vázolt okok miatt tehát nem oldható meg egyszerű módon a készülékméretetek változtatásával az ipar igényeinek megfelelő teljesítmények által meghatározott határig. A méretnövelés készülék-konstrukció változtatást igényel, vagyis további készülékfejlesztési, kutatási munkát.

A gejzír-eljárás számos előnye mellett azonban meg kell jegyezni, hogy az ismertetett, — alapszabadság szerint — készülék-konstrukció esetén jelentős a ventilációs energiaigény. Ez a recirkulációs szemcsemozgás fenntartásához (a szemcséknek a készülék-aljban való felgyorsításához, ill. a belső gázcsatornában a függőleges szállításhoz) szükséges gázsebességből és nyomásból adódik. Jelentős lehet — különösen nagyméretű szemcsék, darabos anyagok vagy nagy rétegmagasság és így nagy gázsebesség esetén — a fűvókán keresztül áramló gáz nyomásesése.

Bizonyos esetekben a szárítási művelet gázszükséglete lényegesen kisebb lehet a réteget alkotó szemcsék recirkulációs mozgásának gázszükségleténél. Amennyiben a kétféle szempont szerint gázszükségletet nem sikerül összehangolni, úgy a rétegen átáramló gáz részben kihasználatlanul távozik a szárítóból.

A MTA Műszaki Kémiai Kutató Intézetben a gejzír-eljárás és készülék vizsgálatát célul tűző — mintegy 15 éve folyó — kutatómunka egyrészt áramlástan-, anyag- és hőátadási vizsgálatok végzésére-, másrészt a készülék konstrukció továbbfejlesztésére irányult. E munkába kapcsolódott be 1970 óta a Keszthelyi Agrártudományi Egyetem Mosonmagyaróvári Karán működő Növénytermesztési Tanszék.

## 2. Ujabb típusu gejzír-készülékek ismertetése

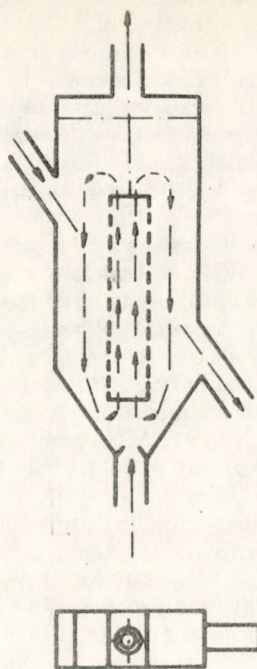
A gejzír-készülék konstrukció továbbfejlesztésére az eddig ismertetettek alapján a szemcse tartózkodási idő megbízható szabályozása, a ventilációs energiaigény csökkentése, a recirkulációs szemcsemozgás fenntartása és a szárítás levegőszükségletének függetlenítése, az alkalmazási területek kiszélesítése az aprószemcsés, szélesebb szemcseméreteloszlású őrlmények, anyagok irányába, valamint a méretnövelés céljából volt szükség.

Sok esetben fontos követelmény, hogy a szilárd fázis meghatározott ideig érintkezze a gáz-fázissal, mint például bomlékony, hőérzékeny anyagok hőkezelésénél, szárításánál, de az egyenletes termék-nedvességtartalomnak is előfeltétele az egységes szemcse-tartózkodási idő. Az áramlástan vizsgálatok szerint a réteg belsejében, a gejzíres gázcsatornából visszahulló szemcséknek csak mintegy kétharmada teszi meg a rétegen belüli — a hő- és anyagátadás szempontjából előnyös — maximális cirkulációs pályát, egyharmada jóval a készülék-alj elérése előtt besodródik a gejzíres gázcsatornába. A cirkulációs mozgásban mutatkozó rendellenesség következménye kétirányú. Megnö a szemcsék tartózkodási ideje, mivel a készülék-aljban kiképzett elvételi nyílás környezetébe csak egy következő cirkuláció során juthatnak, ugyanakkor kikerülnek az intenzív átadási körülményeket biztosító gázbevezető fűvóka környezetet, vagyis a szárítóba belépő nagysebességű, örvénylő meleg levegőáramot. A rendellenes cirkulációs mozgás kiküszöbölésére kialakított, intézeti szabadságot képező készülék konstrukció (10) a 3.4. ábrán látható.

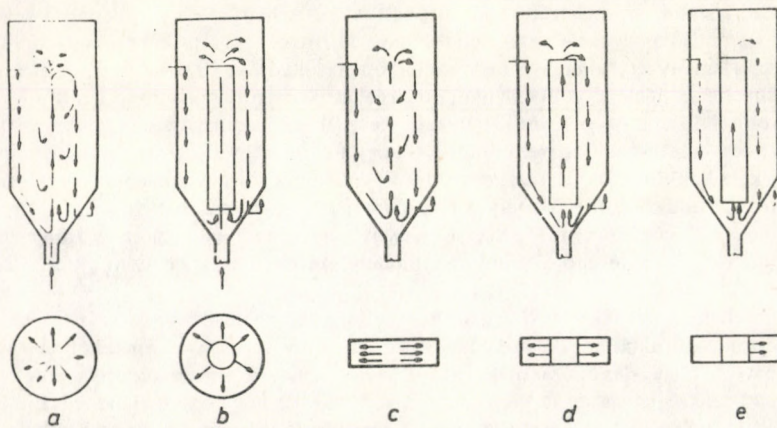
A maximális cirkulációs pálya biztosítására a gejzír-rétegbe a természetes gázcsatorna méreteinek és alakjának megfelelő tömőrfalú-, ill. megfelelő lyukméretű fémszítából készült betétcső helyezhető a gázbevezető fűvóka felett, attól olyan távolságra, hogy a szemcsecirkuláció zavartalanul kialakulhasson. A betétcső alkalmazásával tehát az átadási viszonyok javulása mellett a szemcsék tartózkodási ideje is egyöntetűbbé válik.

E készülék konstrukció másik jellemzője a hagyományos, hengeres alaktól eltérő olyan szögletes — téglalap keresztmetszetű készülék-alak, melynek megfelelően a készülék keskenyebb oldalfalzsílessége megegyezik a gejzíres gázcsatorna — jelen esetben a betétcső — átmérőjével. Az ilyen alakú készülékben a szemcsék mozgási pályája határozottabb, a tartózkodási idő biztosabban szabályozható. A 3.5. ábrán a hengeres és a szögletes-, a betétcső nélküli-, ill. a kétféle típusú betétcsővel ellátott készülékben kialakuló szemcsemozgások láthatók.





34. ábra



3.5. ábra



A szemcsecirkulációban mutatkozó rendellenességek mind a hengeres a típusnál, mind pedig a szögletes c típusnál felléphetnek, ez utóbbinál azonban mégis határozottabb a szemcsék pályája, amennyiben a réteg tetején a csatornából visszahulló szemcsék csak kétirányban – az adagolási vagy az elvételi oldal felé eshetnek. Az b és d képen látható készülékekben a szemcsék mindegyike a maximális cirkulációs pálya megtételére kényszerül. Az e kép szerinti megoldásnál a szemcsemozgás megközelíti a dugószerű áramlást. Ez olyan betéttípus alkalmazásával érhető el, melynek a szemcsebeadagolás felőli oldalfalát olyan mértékben hosszabbítjuk meg, hogy a csatorna-, vagyis betétcső tetején visszahulló szemcsék csak az elvételi oldal felé eshetnek a csuszóréteg felszínére.

Az ismertetett módosítások tehát elsősorban a szemcsetartózkodási időeloszlást befolyásolják, a hő és anyagátadási viszonyokat javítják. A szögletes készülékalak további előnye a többtestes, többcellás gejzír-készülékek kialakításánál mutatkozik meg, mivel a szögletes gejzíres-készülék-egységek könnyebben és kisebb helyigénnyel építhetők össze vagy kapcsolhatók egymásután. Meg kell azonban jegyezni, hogy a recirkulációs rétegmozgás fenntartása a szögletes – téglalap keresztmetszetű-gejzír-készülékben bizonytalanabb a hengeres készülékekéhez képest.

Szárítófejlesztési munkánk további szakaszában elsősorban a ventilációs energia csökkentésére törekedtünk, szem előtt tartva a méretnövelési problémákat is.

A találmányi bejelentést képező újszerű megoldás (11) a korábbi gejzír-készülék konstrukcióktól a következőkben tér el.

- A szárító levegő a korábban ismertetett igen nagy légellenállást jelentő gázbevezető fúvóka helyett a kúpos készülék alj és a hengeres szárítóttest közé szerelt speciális kiképzésű „perdítő” gyűrűn keresztül áramlik be a szárítóba. A légbevezető gyűrű vázlatos rajza a 3.6. ábrán látható. A gyűrű kialakítása olyan, hogy a belépő levegő nemcsak axiális-, hanem tangenciális sebességkomponenssel is rendelkezik, ami kísérleteink szerint rendkívül kedvező hatással az egyenletes gejzíres szemcsemozgás fenntartására. További előnye ennek a megoldásnak, hogy nem szükséges a készülék indításakor problémát okozó levegőnyomástöbblet, továbbá leálláskor sem zavar a fúvókába visszahulló anyag, mely a fúvóka eldugulását idézheti elő. A konstrukció lehetővé teszi rosszul gejzíreázható anyagoknál (pl. tapadós, aprószemcsés őrleményeknél) mechanikus réteglazító alkalmazását is, amennyiben a tangenciális légbevezetés önmagában kevésnek bizonyul. Kísérleteink során a mechanikus lazító szerkezetek számos változatát próbáltuk ki. A héjrézből a középpont felé irányuló szemcséáramlás az egész keresztmetszet mentén biztonságosan fenntartható például olyan paprikaőrlemény esetében is, mely szemcseméreteloszlása (0,5-4,0 mm) olajtartalma, tapadóképesége miatt egyébként nem gejzíreázható, amennyiben közvetlenül a levegő bevezető tárcsa fölé megfelelően kialakított keverőt helyezünk. A keverőalakról függően a szemcsék a betétcső aljába irányíthatók ill. egy felfelé irányuló mozgásra kényszeríthetők.
- Az új készülékkonstrukció szerint (11) a készülék függőleges tengelye mentén egy nyitott szállítócsiga működtethető, mely a levegőáramtól függetlenül biztosítja a réteg recirkulációs mozgását gördülékeny, a hagyományos készülékekben gejzíreázható anyagok esetén, ill. minimális lazítólevegő alkalmazása mellett aprószemcsés, nehezen fluidizálható anyagok is.

Számos modellanyaggal végzett vizsgálat bizonyítja (pl. szemeskukorica szárításánál), hogy a csiga ily módon való alkalmazása szemcsetöredekezést, vagy sérülést a legcsekélyebb mértékben sem okozott. A csiga alkalmazásának előnye jelentékeny. A levegő (szárítóközeg) mennyiségét a művelet szükséglete szerint választhatjuk meg, nem pedig asszemcsemozgás biztosításához szükséges levegősebességet kell beállítanunk. A ventilációs energia szállítócsiga alkalmazása esetén lényegesen kisebb, nem jelentkezik ugyanis a függőleges anyagszállítás nyomásigénye. A szemcsék recirkulációs mozgásának sebessége továbbá széles határok között változtatható a szállítócsiga fordulatszámának változtatásával.

A gejzír rétegben kezelt anyag tulajdonságai határozzák meg, hogy az ismertetett készülék-elemek közül melyiket, vagy melyeket alkalmazzuk, vagyis csak a betétcsövet, a keverőt és a







Anyagfélések	keverő	készülék betételek		
		betétcső	belső csiga	
lucernaliszt d <sub>sz</sub> 0,1...0,5 mm	+	+		+
kukoricadara d <sub>sz</sub> 0,5...2 mm		+		+
szeimeskukorica		+		+
		+		+
kockázott zöldfélések				+
paprikaőrlemény d <sub>sz</sub> 0,2...5 mm	+	+		
granulált műtrágya		+		

A táblázatban megadott kísérleti körülmények a nedves (szárítás előtti szokásos nedvességtartalmú) anyagfélések mozgására vonatkoznak.

A betételekkel ellátott gejzír-készülék függőleges metszetét mutatja be a 3.7. ábra.

a. Az újabb típusú gejzír-szárító kísérleti alkalmazásai

Az előzőekben ismertetett készülék konstrukció lehetővé teszi a gejzír-szárító alkalmazási területeinek kiszélesítését. A megfelelő készülékelemek (keverő, betétcső, belső csiga) beszerelésével, ill. ezek célszerű variációjával előnyös szárítási körülmények biztosíthatók porszerű, szemcsés, darabos anyagok, oldatok, szuszpenziók, pasztaszerű anyagok eseteiben egyaránt.

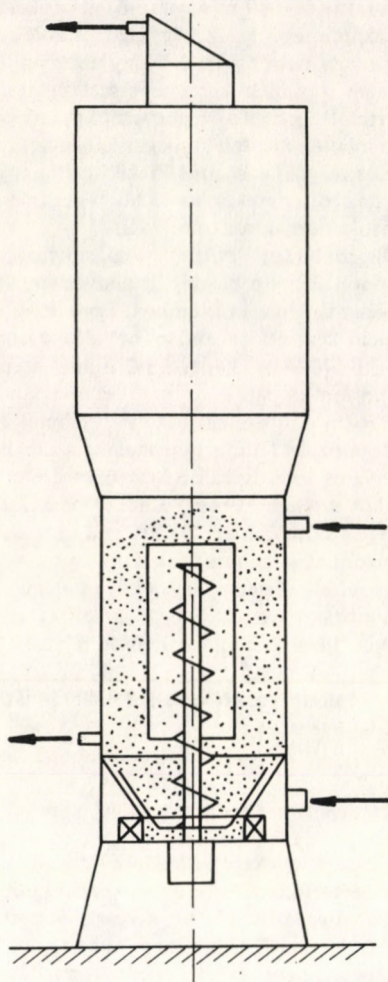
A következőkben a szárító fejlesztési, kutatási munkánk során kialakított nagylaboratóriumi gejzír-szárítóban végzett eloszlásban, felületi tulajdonságokban és nedvességtartalomban nagymértékben eltérő mezőgazdasági és élelmiszeripari termék szárítási eredményeit, a szerzett kísérleti tapasztalatokat ismertetjük.

b. Előaprított fűszerpaprika szárítási kísérletei

A Szegedi Paprikafeldolgozó Vállalat megbízásából kísérleteket végeztünk a MTA Műszaki Kémiai Kutató Intézetben a Keszthelyi Agrártudományi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdasági Karán működő Növénytermesztési Tanszékkal együttműködve előaprított fűszerpaprika utószárítására alkalmas gejzír-elven működő szárító kifejlesztésére.

A csöves paprikát szárítás után kalapácsos malommal törik össze. Ezt a töretet – amelynek nedvességtartalma 10-16 s. % az eddigi gyakorlat szerint közvetlenül a paprikamalomba továbbítják, ahol több speciális hengerezken és kőjáraton átvezetve készítik ki fogyasztásra alkalmas fűszerpaprika őrléménnyé. Egyes őrlési szakemberek szerint azonban 6-8 s. %-ra szárított előtöret feladásával a paprikamalomok teljesítőképessége megduplázódik. Ez utóbbi tény indokolta a Paprikafeldolgozó Vállalat 1 t/h nedvesanyag teljesítményű utószárító igényét.





3.7. ábra



Az olajos, tapadós, boltozódásra hajlamzos fűszerpaprikatőret folyamatos, intenzív szárítása speciális igényeket kielégítő kíméletes eljárással (szín, íz, illet megtartása stb.) világviszonylatban sem megoldott feladat.

Előkísérletek alapján megállapítást nyert, hogy az olajtartalmú, tapadós paprikatőret egyenletes, rétegen belüli recirkulációs mozgása a hagyományos – fuvókás légbevezetéssel ellátott – gejszír-szárítóban csak kis laborméretű (60-100 m átmérőjű) gejszír-készülékben érhető el. A kívánt 1 t/h teljesítménynek megfelelő, mintegy 1 m<sup>2</sup> nagyságú készülék keresztmetszet mentén azonban a recirkulációs rétegmozgás már nem zavartalan, így az egyenletes végtermék-nedvességtartalom sem biztosítható. A teljes készülék keresztmetszet mentén egyenletes szemcsemozgás érhető el azonban a már ismertetett „perditó” légbevezető gyűrű és a föléje szerelt keverő, valamint a készülék hossz tengelye mentén megfelelő magasságban a rétegbe nyúló betétcső alkalmazásával. Ez utóbbi konstrukciós megoldás szerint kialakított nagylaborméretű gejszír-szárítóban végeztünk áramlástani és szárítási kísérleteket az 1 t/h teljesítményű fűszerpaprika utószárító tervezéséhez szükséges alapadatok meghatározására. (12)

Az áramlástani mérések célja többirányú volt. Megoldásra várt a megbízható adagolási és elvételi mód kidolgozása oly módon, hogy a beadagolt nedves anyag ne zavarja a réteg recirkulációs mozgását, az elvételnél pedig egyenletes ütemben, egyenletes nedvességtartalommal távozzék a szárított termék. Megfelelő készülék-felső rész (bővülő kolonnarész) kialakítása vált szükségessé a paprikatőret zömét (kb. 40 %-ot) képező 1-2 mm-es szemcsék mellett jelenlevő poros anyag (5-8 %-ot képező 0,1-0,8 mm-es paprikafrakció) száradásához szükséges tartózkodási idő biztosítására. Meg kellett határozni a megfelelő betétcső méretet és elhelyezési módot abból a célból, hogy az egyenletes rétegmozgás fenntartása mellett a maximális levegőbetáplálást alkalmazhassuk. Ez utóbbi teszi ugyanis lehetővé a kis készülékméretet. A szárítólevegő jó kihasználása (megfelelő fajlagos kalorikus értékek elérése) céljából vizsgáltuk az alkalmazható maximális rétegmagasságot. A rétegmagasság növelésének határt szab a rétegellenállás, ill. a szemcsemozgás egyenlőtlené válása egy bizonyos réteghossz felett.

E vizsgálatok elvégzése céljából a kísérleti szárítót olyan elemekből építettük fel, melyek lehetővé tették a készülék módosítását, vagyis a beadagolási és elvételi magasságok változtatását, a készülék-felső rész cseréjét, ill. a készülékmagasság növelését az üzemi rétegmagasságnak megfelelő mértékig.

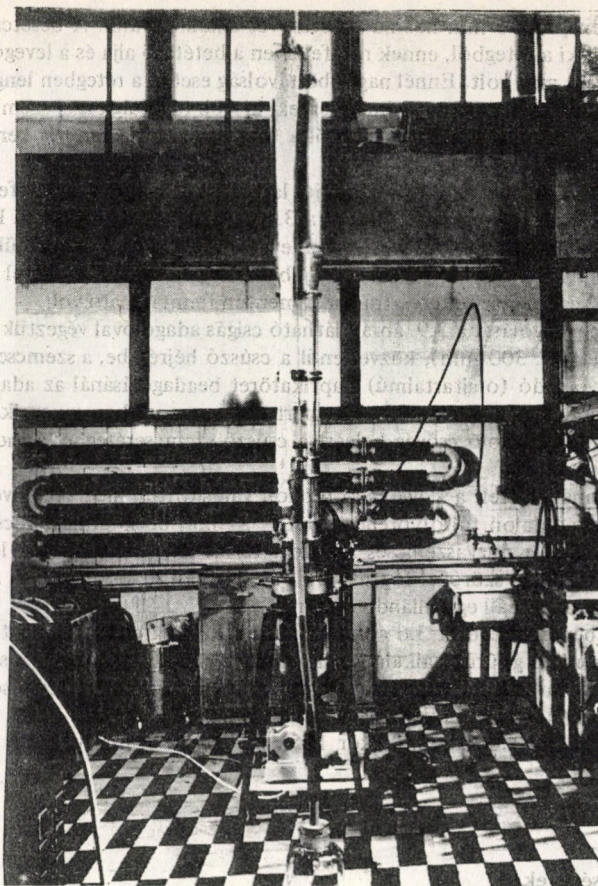
A különböző elemekből összeépített szárító képe a 3.8. ábrán látható.

#### Áramlástani vizsgálatok eredményei

##### – Rétegmagasság és az alkalmazható levegőbetáplálás:

Mintegy 10 perces szemcse tartózkodási időt és kb. 20 kp/h nedvesség beadagolási sebességet alapul véve a töltet súlya a 0,015 m<sup>2</sup> keresztmetszetű (készülékátmérő: 138 mm) hengeres szárítótérben 3,5-3,7 kp. E töltet-mennyiség tágult (mozgásban lévő) állapotban mintegy 490-500 mm magas rétegnek felel meg. A szárítási kísérletek zöménél ezt a rétegmagasságot állítottuk be. Betétcső alkalmazása nélkül maximálisan csak 36-40 m<sup>3</sup>/h levegőbetáplálást alkalmazhattunk a jellegzetes – biztonságos üzemelést és egyenletes végterméket biztosító – gejszír mozgás fenntartása mellett. A rétegbe helyezett betétcsővel elérhető volt az egyenletes recirkulációs rétegmozgás, ill. a levegőbetáplálás is növelhető volt mintegy 60-65 m<sup>3</sup>/h-ra. Keverő alkalmazása esetén a levegőbetáplálás tovább növelhető mintegy 80-82 m<sup>3</sup>-ig, a szemcsemozgás pedig az egész réteghossz és keresztmetszet mentén egyenletes. A levegőbetáplálás fokozása a szárítási teljesítmény növelése szempontjából volt jelentős.





3.8. ábra

A szárítás kísérleteket a Szegedi Paprika- és Választási Kísérleti Intézetben végeztük. A kísérletek során a 3.11. táblázatban bemutatott kísérleti berendezést használtuk.

- A betétcső szerepe többirányú: biztosítja az egyenletes recirkulációs rétegmozgást, mely az egyenletes végtermék-nedvesség-tartalom előfeltétele lehetősé teszi a nagyobb rétegmagasság alkalmazását, mely a szárítólevegő jobb kihasználását eredményezi; betétcsővel ellátott készülékben a gejzíres mozgás fenntartása mellett növelhető a levegő-betáplálás, mely a szárító teljesítmény fokozását biztosítja.

A felsorolt előnyök azonban csak meghatározott készülék-keresztmetszet; betétcső-keresztmetszet arány teljesülése esetén érhető el. Nagy jelentősége van továbbá a rétegmagasság; betétcső-hossz aránynak is, valamint a levegő befúvó „perdítő” gyűrű és a betétcső alja közötti távolságnak.

Kísérleteink alapján a nedves anyag tulajdonságaitól függő optimális arányok a következők voltak:

Készülék-keresztmetszet; betétcső-keresztmetszet = 3...3,5 Rétegmagasság; betétcsőhossz = 1.

A szárítókészülékbe ennek megfelelően egy 74,5 mm átmérőjű hengeres betétcsövet helyeztünk, melynek hosszát a rétegmagasságtól függően esetenként változtattuk. 490 mm magas tá-



gult paprikaréteg esetén pl. 430 mm hosszú betétcsövet alkalmaztunk. A betétcső teteje mintegy 60-80 mm-re nyúlt ki a rétegből, ennek megfelelően a betétcső alja és a levegő befúvó gyűrű közötti távolság 100-120 mm volt. Ennél nagyobb távolság esetén a rétegben lengések alakultak ki, melyek jelentős nyomásingadozást eredményeztek, kisebb távolság ezzel szemben akadályozza a szemcsebeáramlást a külső csúszó héjrészből a betétcsőbe a beáramlási keresztmetszet leszűkülése miatt.

A szárító hengeres részében helyezett betétcső jól látható a 3.9. ábra fényképfelvételén.

- A különböző kiképzésű réteglazítók közül a 3.10 ábrán látható egyszerű keverőalak mutatkozott a legalkalmasabbnak. Közvetlenül a levegőbefúvó gyűrű felett működtetve a paprikaszemcséknek a héjrészből a betétcső aljába való beáramlása és ezzel a recirkulációs szemcsemozgás az egész szárítókeresztmetszet mentén fenntartható volt.
- A nedves anyag beadagolását a 3.9. ábrán látható csigás adagolóval végeztük (csiga átmérő : 40 mm, tengelyhossz : 300 mm), közvetlenül a csúszó héjrészbe, a szemcseelvétellel ellentétes oldalon. A tapadó (olajtartalmú) paprikatövet beadagolásánál az adagoló csővégeben légzáró anyagdugót nem alkalmazhattunk, mert ebben az esetben a paprikatövet betömörlült. Amennyiben az adagoló csővég beleért a csúszó szemcserétegbe, az adagolás zavartalan és üzembiztos volt.
- A folyamatos termékeltvételt a következő módon valósítottuk meg. A nedves anyag beadagolásával ellentétes oldalon túlfolyórendszerrel – 27 mm belső átmérőjű csővezetéken keresztül – vezettük el a dúrvaszemcsés szárított terméket, míg a távozó levegővel kilépő porszerű paprikát zsákos szűrővel fogtuk fel. Zárt elvételi rendszer esetén a rétegszint ilyen módon automatikusan beáll egy állandó értékre.
- A szárítólevegő bevezetésével a 3.6 ábrán bemutatott, megfelelő irányítottságot és sebességet adó ún. „perditó gyűrűt” alkalmaztuk. A kísérleteket különböző résméretű-, szélességű és magasságú tárcsákkal végeztük. Megfelelőnek a 35 mm résszélességű, 3...5 mm résmagasságú befúvótárcsákat találtuk. A levegő nyomásvesztése a 25-, ill. a 25 mm-es résszélességű gyűrűkön való átáramláskor 125-, ill. 105 v. o. mm volt, 70 m<sup>3</sup>/h levegőbetáplálásnál.

### 3. Paprika szárítási kísérletek

A szárítási kísérleteket a Szegedi Paprikafeldolgozó Vállalat termékét képező paprikatőrettel végeztük. A paprikatövet a 3.11 ábrán bemutatott szemcseméreteloszlással jellemezhető, bár a különböző vizsgálati minták ettől az eloszlástól kisebb-nagyobb mértékű eltérést mutattak.

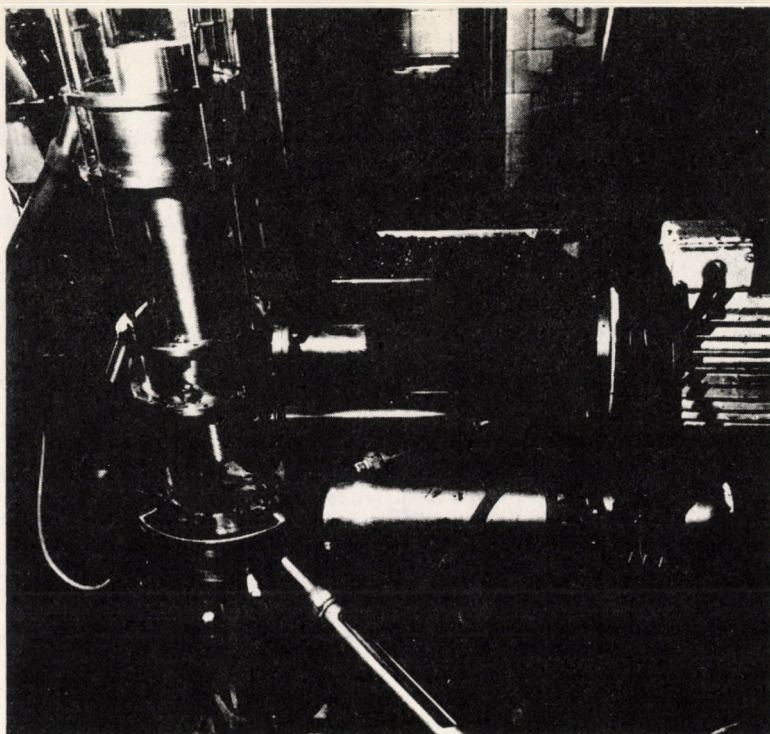
A paprikatövet nedvességtartalma 10-20 s. % között változott. A paprikaszemcsék mérete, olajtartalma, a héj-mag arány széles határok között mozoghat a paprika minősége és az előőrlés módja szerint.

#### a. Kísérleti körülmények

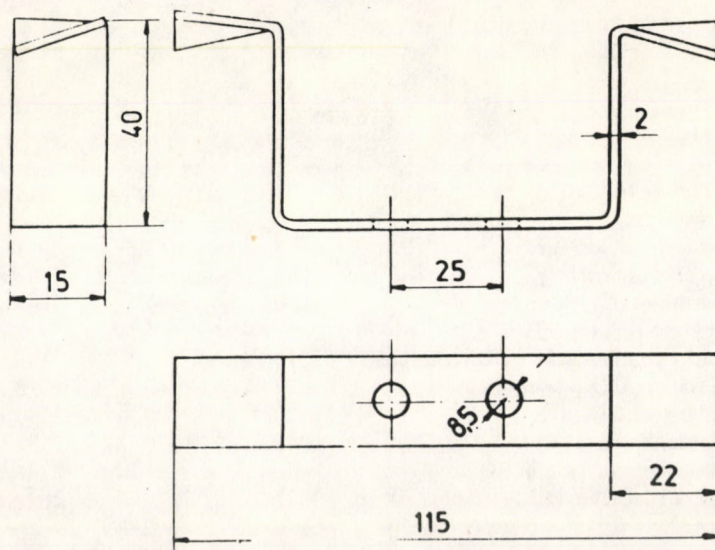
A szárítási kísérletek során általában 50 kp. nedves paprikát szárítottunk meg folyamatos üzemben, mérve, ill. változtatva

- a levegőbetáplálást (50-80 m<sup>3</sup>/h tartományban),
- a nedves anyag adagolási sebességét (15-21 kp/h tartományban).
- a rétegmagasságot (490-1665 mm tartományban), ezzel a szemcsetartózkodási időt is,
- a szárító-levegő hőmérsékletét (125-150 °C tartományban).





3.9. ábra



3.10. ábra



## a. Kísérleti eredmények

A szárítási kísérletek értékelése alapján megállapítható volt, hogy a paprikatőret szárítására kialakított készülékkonstrukció megfelelő a kitűzött feladatnak, amennyiben

- a folyamatos szárítás biztonságosan, állandósult körülmények között végezhető. A termék nedvességtartalma, a kilépő levegő hőmérséklete mintegy 30-40 perces üzemmenet után beállnak a megkívánt állandó értékre és ezen tarthatók,
- a légbefúvó „peditő” tárcsa, a keverő és a betétcső együttes alkalmazása biztosítja az egyenletes recirkulációs rétegmozgást a teljes készülékkeresztmetszet mentén,
- a levegő nyomásvesztése lényegesen kisebb — mintegy fele az ismertetett levegőbevezető tárcsa alkalmazása esetén, mint a hagyományos, fűvókás légbevezetésnél mért érték. A készülék és a réteg által együttesen okozott nyomásvesztés az alkalmazott 500-1665 mm rétegmagasság- tartományban 300-450 v.o. mm között változott,
- a megfelelő méretű és elhelyezésű betétcső alkalmazása mintegy 100 %-os levegőbetáplálás növelést tesz lehetővé a betétcső nélküli szárítónál alkalmazhatóhoz képest,
- megfelelő szemcse-tartózkodási idő beállítással (a töltetsúly és az adagolási sebesség összehangolásával), valamint a bővülő keresztmetszetű készülék-felső rész alkalmazásával elérhető, hogy a nagyobb, ill. apróbb paprikaszemcsék egyaránt a kívánt értékre száradjanak.

A különböző kísérleti körülmények között végzett szárítási kísérletek közül a legjellemzőbbeket kiemelve, eredményeiket a 3.2. táblázatban tüntettük fel. Mint az a táblázat adataiból kitűnik, a kísérleti anyagok nedvességtartalma nem volt azonos. Az adatok közül kiemeltük a fajlagos nedvességteljesítményt, amely 1001,6 . . . 1400  $\text{kp/m}^2\text{h}$  értékű. Ez utóbbiból adódik, hogy az  $\text{lt/h}$  nedvesség-teljesítményhez kb.  $1 \text{ m}^2$  keresztmetszetű üzemi szárító már megfelelő. A szárítólevegő hőmérséklete viszonylag magas volt ( $121 \dots 147^\circ\text{C}$ ). Emellett a távozó levegő hőmérséklete alacsony és a szárítmány hőmérséklete  $62 \dots 39^\circ\text{C}$  értékekkel olyan, hogy a termék minősége nem károsodik, nedvességtartalma pedig megfelel az előírt 5-6 s. %-nak. A fajlagos kalóriafelhasználás az alkalmazott legnagyobb rétegmagasságnál a legjobb (993 Kcal/kp víz), mely érték a szárítandó anyag alacsony nedvesség-tartalom szintje ellenére kedvező.

3.2. táblázat

A mérés sorszáma	1.	2.	3.	4.
kezdeti nedvesség (s. %)	9,63	14,4	15,0	18,8
rétegmagasság (mm)	490	490	490	1665
átl. szemcse tartózk. idő (min.)	12	13,5	11,5	48
levegőbetáplálás ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	56	61	78,8	63
levegőhőmérséklet ( $^\circ\text{C}$ )	130	147	144	122
Vízelpárolgató telj. ( $\text{kp/h}$ )	1,64	1,57	1,68	1,73
fajl. térfogati vízelp. teljesítm. ( $\text{Kpvíz}/\text{m}^3/\text{h}$ )	223,1	213,6	228,6	69,3
fajl. levegő felhasznál. ( $\text{Kp levegő}/\text{Kpvíz}$ )	37,9	43,9	53,0	40,7
a szárítóba bevitt hő (Kcal/h)	1720	2150	2580	1720
fajl. hőfelhasználás (Kcal/Kpvíz)	1048	1370	1535	993
fajl. felületi nedves anyag telj. ( $\text{Kp}/\text{m}^3/\text{h}$ )	1400	1116,8	1288,6	1001,6
fajl. térfogati nedves anyag telj. ( $\text{Kp}/\text{m}^3/\text{h}$ )	2857	2176,6	2629,8	601,7



#### 4. Takarmánykukorica szárítási kísérletek

A hagyományos kialakítású gejzír-szárítóban korábban végzett vetőmag- és takarmánykukorica szárítások eredményei a szárítási teljesítmény, a fajlagos hőfelhasználás, valamint a szárított termék minősége szempontjából igen jónak tekinthető, amennyiben a rétegmagasság meghaladta az 1-1,5 m-t. Ebben az esetben azonban már jelentős a szárító ventilációs energia-igénye a gáz-bevezető fúvóka ellenállásából és a gejzíres gázcsatornába vagy a betétcsőben kialakuló függőleges szemcseszállításból eredő nyomásigény (1000-1400 v.o. mm) miatt. A 3.3. táblázat a 3.4. ábra szerinti, tehát betétcsővel ellátott, téglalap-keresztmetszetű, fúvókás gázbevezetésű félüzemi (0,16 m<sup>2</sup> keresztmetszetű) szárítóban végzett kukoricaszárítás eredményeit tartalmazza. A kukorica nedvességtartalma : 29,7 s. %, az alkalmazott rétegmagasság : 1200 mm, a készülék és a réteg által okozott nyomásesés 1260 v.o. mm, az üres készülék keresztmetszetére vonatkoztatott gázsebesség : 1.94 m/s volt.

A félüzemi kísérleti szárítóberendezés duplafalú, hőszigeteléssel ellátott készülék volt. A fajlagos hőfelhasználás adatainak értékelésénél figyelembe kell venni, hogy a terméknedvességtartalom magasabb volt az igényes tárolás által megkövetelt 12-14 %-nál. Figyelemreméltó azonban, hogy a magas szárítólevegő hőmérséklet ellenére a réteghőmérséklet nem haladta meg a 80 C°-ot, az 1. és 2. mérések terméke pedig csíráképesség szempontjából is megfelelő volt.

A szárítófejlesztési, kutatási munkánk során kialakított nagylaboratóriumi gejzír-szárítóban végzett kukoricaszárítási kísérletek célja egyrészt a különböző készülékelemek (levegőbevezetés perditőtárcsával, betétcső, csiga által a szárításra gyakorolt hatásnak-, másrészt a megfelelő szárítási körülményeknek a vizsgálata volt. Szakaszos szárítási kísérleteink közül három mérés eredményeit a 3.4. táblázatban foglaltuk össze.

A szárító-levegő bevezetésére perditő-tárcsát, a függőleges szemcseszállítás ventilációs energiaigényének a csökkentésére pedig a szárító függőleges tengelyében 700 fordulat/perc sebességgel működtetett nyitott csigát alkalmaztunk. Az 1. mérésnél 0,015 m<sup>2</sup>-, a 2. és 3. mérések-nél pedig 0,03 m<sup>2</sup> keresztmetszetű hengeres szárítócsőben végeztük a szárítást, a töltetsúly növelése és így a fajlagos hőfelhasználás, valamint a szárítási teljesítmény javítása céljából.

A szakaszos szárítási kísérleteket értékelve a következők állapíthatók meg. A töltetsúly növelésével javul a fajlagos hőfelhasználás. A termék nedvességtartalma a 3. mérésnél 14 s. % volt, a 2. mérésnél túlszáradt a kukorica (11,2 s. %), míg az 1. mérésnél nem száradt le még a kívánt mértékben (18. s. %)

3.3. táblázat

A mérés sorszáma	1.	2.	3.	4.
átl. szemcse tartózk. idő (min.)	14,6	9,8	11,1	10,0
a belépő levegő hőmérsékl. (C°)	120,5	155,0	178,5	190,2
átl. réteghőmérséklet (C°)	46,6	60,3	67,5	76,2
átl. termék nedvességtart. (s. %)	17,2	19,2	16,8	16,0
a vízpárolgató telj. (Kp/h)	25,4	35,2	42,3	48,4
fajl. térf. vízpárolgató telj. (Kp/m <sup>3</sup> h)	132,3	183,3	220,3	252,1
fajl. felületi nedvesanyag telj. (Kp/m <sup>2</sup> h)	1830	2780	2410	2620
fajl. térf. nedvesanyag telj. (Kp/m <sup>3</sup> h)	2155	3274	2839	3086
fajl. hőfelhaszn. (Kcal/Kpvíz)	939	928	925	846



A mérések száma	1.	2.	3.
nedves töltetsúly (Kp)	9,0	13,0	14,0
a nedves kukorica nedvességtart. (s. %)	28,5	32,5	28,5
a szárított termék nedvességtart. (s. %)	18,0	11,2	14,0
a tárgult réteg magassága szárítás előtt (mm)	970	845	830
a tárgult réteg magassága szárítás után (mm)	820	700	710
a belépő levegő hőmérséklete (C°)	149	186	181
a kilépő levegő hőmérséklete (C°)	68,0	91,0	80,0
vízelpárolgató teljesítmény (Kp/h)	2,04	3,3	3,43
tárg. térfogati vízp. teljesítm. (Kp/m <sup>3</sup> h)	140,7	130,4	137,8
a készülék keresztmetszete (m <sup>2</sup> )	0,015	0,03	0,03
fájl. felületi nedves anyag telj. (Kp/m <sup>2</sup> h)	1075	477	744
fájl. térfogati nedves anyag telj. (Kp/m <sup>3</sup> h)	1112,4	565,6	897,2
bevitt villamos fűtés (kW)	3,0	4,5	4,5
fájl. hőfelhaszn. (Kcal/Kp víz)	1263	1172	1128

Tekintettel a laboratóriumi fémkészülék szigeteletlen voltára, valamint arra, hogy üzemi méretű szárítás esetén csökken a töltetsúlyhoz viszonyított készülék hűtési felület, továbbá figyelembe véve, hogy üzemi körülmények között a szárított termék lehűtésénél további 1-2 %-os nedvesítésvesztésre lehet számítani, a fajlagos hőfelhasználás biztatónak mutatkozik. A szárítási kísérleteknél a készülék és a réteg által okozott nyomásesés 300-340 v.o. mm tartományban mozgott, ami összevetve a korábbi 1000-1400 v.o. mm-es nyomásvesztéssel, jelentős eredménynek tekinthető. A réteg jó keveredési viszonyai megakadályozzák a helyi túlhevülést, így a szárított termék minősége az alkalmazott 180-190 C°-tartományban is megfelelő volt.

Folyamatos szárítási kísérleteinket különböző készülékelemek felhasználásával, különböző adagolási és elvételi módot alkalmazva, eltérő szárítási hőmérsékleten végeztük. Szárítási kísérleteink közül a legfontosabbak eredményeit ismertetjük:

#### a. 1. mérés

##### Kísérleti körülmények

Szárítókészülék: 138 mm belső átmérőjű hengeres kolonna (3.12. ábra)

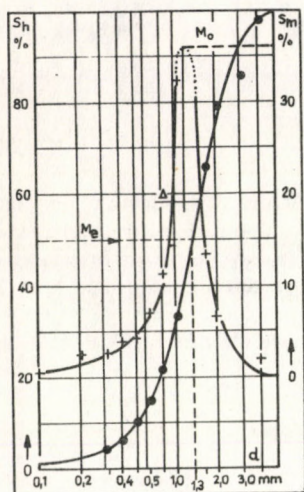
- Levegőbevezetés perdítő-gyűrűn keresztül.
- A nedves anyag adagolása vibrációs adagolóval a réteg felszínére, az elvételi hellyel ellentétes oldalon.
- A száraz termék elvétel túlfolyórendszerrel, csővezetéken keresztül.
- A szárítóban alkalmazott betétcső hossza 1000 mm, a réteg függőleges tengelyében működtetett szállítócsiga hossza pedig 1200 mm volt.

##### Kísérleti eredmények

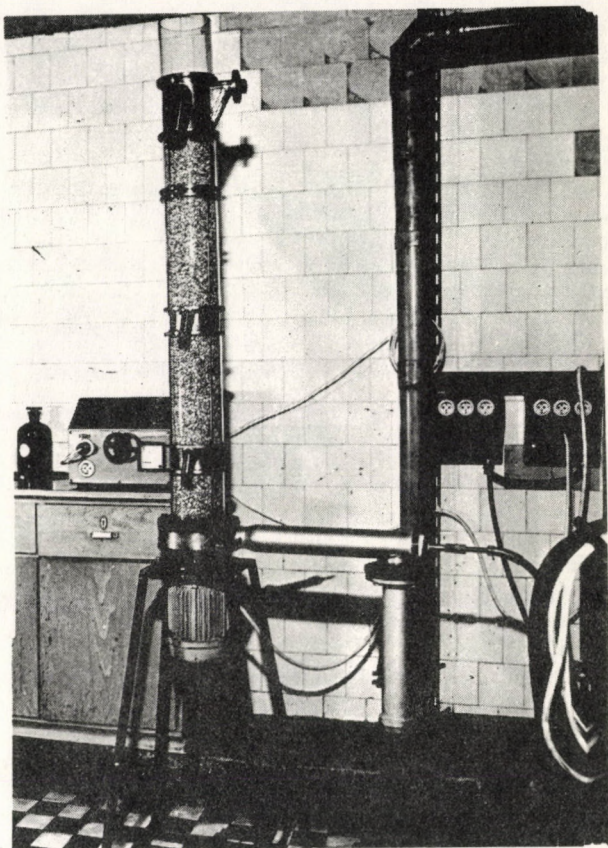
A kukorica nedvességtartalma szárítás előtt. ....	23,6 s. %
A belépő levegő átlagos hőmérséklete. ....	184 C°
A kilépő levegő átlagos hőmérséklete. ....	72 C°
Az átlagos anyaghőmérséklet. ....	67 C°
A szárított termék nedvességtartalma. ....	16,2 s. %
Az eltávolított nedvesség. ....	3,28 Kp/h
Nedves anyag térfogati teljesítménye. ....	2488,9 Kp/m <sup>3</sup> h



Szárazanyag térfogati teljesítménye. ....	2270,2 Kp/m <sup>3</sup> h
A bevitt villamos fűtés. ....	4,5 kW
A fajlagos hőfelhasználás. ....	1179 Kcal/Kpvíz



3.11. ábra



3.12. ábra

A szárítási kísérletek értékelése alapján megállapítható, hogy az 1179 Kcal/Kpvíz-értékű fajlagos hőfelhasználás, figyelembe véve a kísérleti szárító kis méretét, valamint a termék hűtés elhagyását, kielégítőnek mondható, mégis a szárítólevegő részbeni kihasználatlanságára utal. Ennek okát a következőkben látjuk. A beadagolási oldalon lefelé csúszó rétegszakasz lényegesen nedvesebb, mint az ellentétes oldalon, vagy a betétcsőben felfelé szállított szemek. A levegő nagyobb hányada tehát lényegesen szárazabb rétegen áramolva hagyja el a szárítót és csak a kisebb hányad találkozik szembe nedvesebb réteggel. Ennek elkerülésére a következőkben a nedves anyag beadagolását úgy oldottuk meg, hogy az a réteg felszínére egyenletesen eloszlatva jusson, kivéve a termék elvételi nyílás közvetlen környezetét.



## b. 2. mérés

## Kísérleti körülmények

- Szárítókészülék: azonos az 1. mérésnél alkalmazottal.
- Levegőbevezetés perdítő gyűrűn keresztül.
- A nedves anyagot a csúszó héjgyűrű felszínére juttattuk, körkörös en egyenletesen eloszlátva, egy megfelelően kialakított – a réteg felett körforgást végző – adagolócsövön keresztül. Az elvételi hely környezetét leárnyékoltuk.
- A szárítóban alkalmazott betétső hossza 1000 mm, a szállítócsiga hossza pedig 1200 mm volt.

## Kísérleti eredmények

A kukorica nedvességtartalma szárítás előtt. ....	31,0	s. %
A belépő levegő átlagos hőmérséklete. ....	300	C°
A kilépő levegő átlagos hőmérséklete. ....	73	C°
Az átlagos anyaghőmérséklet. ....	68	C°
A szárított kukorica nedvességtartalma. ....	10,8	s. %
Az eltávolított nedvesség. ....	8,56	Kp/h
A nedvesség térfogati teljesítménye. ....	2518	Kp/m <sup>3</sup> h
A szárazanyag térfogati teljesítménye. ....	1947,4	Kp/m <sup>3</sup> h
A bevitt villamos fűtés. ....	9	kW
A fajlagos hőfelhasználás. ....	950	Kcal/Kpvíz

Megfelelő adagolási sebességgel, mint látható az adatokból elérhető volt, hogy a réteghőmérséklet a magas szárítási hőmérséklet ellenére alacsony értéken maradjon. A szárított termékben repedezett szemek találhatók, ami hirtelen szárítás következménye. A száraz kukoricaszemek között bizonyos % nedvesebb szem is volt, feltehetően az ismertetett adagolási mód következtében.

A következőkben a szemrepedés elkerülésére, azonos kísérleti körülmények között, de alacsonyabb szárítási hőmérsékleten végeztünk szárítást.

## c. 3. mérés

## Kísérleti körülmények

Szárítókészülék, adagolás és elvételi mód azonos a 2. mérésnél ismeretettel.

## Kísérleti eredmények

A kukorica nedvességtartalma szárítás előtt. ....	30,2	s. %
A belépő levegő átlagos hőmérséklete. ....	185	C°
A kilépő levegő átlagos hőmérséklete. ....	76,7	C°
Az átlagos anyaghőmérséklet. ....	72	C°
A szárított kukorica nedvességtartalma. ....	13,86	s. %
Az eltávolított nedvesség. ....	4,2	Kp/h
A nedvesanyag térfogati teljesítménye. ....	1476	Kp/m <sup>3</sup> h
A szárazanyag térfogati teljesítménye. ....	1196	Kp/m <sup>3</sup> h
A bevitt villamos fűtés. ....	4,5	kW
A fajlagos hőfelhasználás. ....	921	Kcal/Kpvíz



A szárított termékben repedezett szemek nem találhatók, mely tény a megfelelő szárítási hőmérsékletre utal. A fajlagos hőfelhasználás is jónak tekinthető.

A tökéletes termék egyenletesség (a szemek azonos nedvesség-tartalma) érdekében a rétegen belüli recirkulációs mozgást a következő szárítási kísérleteknél oly módon szabályoztuk, hogy minden egyes szemcse csak egyetlen recirkulációt végezzen. Ennek érdekében a betétcső felső részét zárttá tettük, ill. nyílást csak az elvétel számára biztosítottunk. Annak elkerülésére, hogy a kilépő nedves levegő a kilépő száraz termékkel együtt távozzék, a betétcső felső harmadában, körkörösén réseket képeztünk a betétcső falában, melyen keresztül a levegő a héjgyűrű felé távozhatott.

#### d. 4. mérés

##### Kísérleti körülmények

- Szárítókészülék:  $0,03 \text{ m}^2$  keresztmetszetű hengeres kolonna az előzőekben alkalmazott készülék alj fölé szerelve.
- Légbevezetés perditő gyűrűn keresztül.
- A nedves anyagot körkörösén a teljes héjgyűrű felszínre adagoltuk.
- A termék elvétel a zárt tetejű betétcső felső részénél, zárt szedőrendszerbe.
- A betétcső hossza 1000 mm, felső harmadában körkörösén rések a levegő kilépésére.
- A betétcsőben 1200 mm hosszú szállítócsiga forog, mely benyúlik a betétcső fölött ki képezett zárt térrészbe, melyből zárt vezetékrendszeren keresztül távozik a termék.

##### Kísérleti eredmények

A kukorica nedvességtartalma szárítás előtt. ....	30,6	s. %
A belépő levegő átlagos hőmérséklete .....	205	°C
A kilépő levegő átlagos hőmérséklete .....	76,5	°C
Az átlagos anyaghőmérséklet. ....	72	°C
A kukorica nedvességtartalma szárítás után. ....	12,2	s. %
Az eltávolított nedvesség. ....	7,88	Kp/h
A nedvesanyag térfogati teljesítménye. ....	1250	Kp/m <sup>3</sup> h
A szárazanyag térfogati teljesítménye .....	987,5	Kp/m <sup>3</sup> h
A bevitt villamos fűtés. ....	4,5	kW
A fajlagos hőfelhasználás. ....	982	Kcal/Kpvíz

A termék nedvességtartalma egyenletes, bár a magas hőmérséklet miatt kisméretű repedezettséget mutat.

Az új konstrukciójú gejzír-szárítóban végzett szakaszos és folyamatos kukorica szárítási eredményeink azt mutatják, hogy a szárító előnyösen alkalmazható takarmánykukorica károsodásmentes, nagyhatásfokú szárítására. Az egyenletes végnedvesség-tartalom biztosítása mellett az új konstrukciójú gejzír-szárító gazdaságosan üzemeltethető, a hagyományos kialakítású gejzír-szárítóhoz képest lényegesen kisebb ventilációs energiával.

Az üzemi méretű, nagyteljesítményű szárító megvalósításához további kísérletek szükségesek.

#### 5. Pasztaszerű anyagok, szuszpenziók, levelek szárítása gejzír- rendszerű szárítóban

Szárítási vizsgálataink új irányát képezi a pasztaszerű anyagok, szuszpenziók, levelek szárításának vizsgálata gejzír-rendszerű szárítóban. E nagy nedvességtartalmú anyagok szárítása számos



iparágban megoldásra váró feladat. A célnak megfelelő szárító igénye egyre nagyobb mértékben jelentkezik mind a mezőgazdaság és élelmiszeripari (pl. lucernalé szárítása, takarmánykeverékek előállítása különböző fehérje-, keményítő- és cukortartalmú koncentrátumokból, tejipari szárítások, élesztőszárítás a szesz-, és söriparban stb.), mind pedig a vegyipar vonatkozásában.

A szárítási feladatok egy részének korszerű megoldását biztosítják az iparban alkalmazott porlasztó-szárítók, a filmkészülékek és fluidizációs szárítók. Irodalmi utalások és kísérleti tapasztalataink alapján a gejzír-szárítókból recirkulációs mozgást végző réteg szemcséire juttatott pasztaszerű anyagok, levelek a felületi tulajdonságoktól függően a réteg-szemcséken egyenletes bevonatot képezhetnek. A nagy felületen az intenzív gáz-szilárd érintkezés következtében a bevonat könnyen megszilárdul és a szemcsék surlódó, ütköző mozgása következtében megfelelő körülmények között leválik, ill. bizonyos mértékig aprítódhat is. A réteget alkotó szemcsék felületén megszáradt, majd levált anyagszemcséket a levegőáram megfelelő sebességnél magával ragadhatja és így pl. a ciklonban leválasztható. Meghatározott anyagi és felületi tulajdonságok esetén viszont a bevonat olyan jól tapadhat a réteget alkotó szemcsék felületére, hogy megszáradva sem válik le róla. Ez utóbbi körülmény például különböző takarmánykeverékek előállításánál hasznosítható. A bevonat vastagság – ezáltal a komponensek aránya – az alapréteget képező szemcsék recirkulációs sebességének, ill. a recirkulációs pályának (rétegmagasság) megfelelő beállításával, valamint az adagolási sebességgel, valamint megfelelő adalékanyagokkal a kívánt értékre hozható.

Az ismeretettekből kitűnik, hogy az egyes szárítási technológiák kidolgozása egyedi megoldás, körültekintő és széleskörű kísérleti-, kutatási munkát igényel.

Szuszpenziók és levek gejzír-rétegű szárítására irányuló vizsgálatainkat kétféle irányban terveztük. Takarmánykeverékek, ill. állandó összetételű egyéb célú keverékek előállítására a bevonatképzés, granulátumelőállítás kísérleti és elméleti tanulmányozását, valamint porszerű termékek előállítását szuszpenziókból, levekből inert töltetszemcséken.

Szárítási kísérleteinkhez az előzőekben ismertetett, perditő gyűrű légbevezetéssel, betétcsővel vagy belső csigával ellátott gejzír-szárítót alkalmaztuk. A célnak megfelelően kialakított és összeszerelt kísérleti szárító képe a 3.13. ábrán látható.

A szárítási eljárás alapelve a következő volt. Az alaptöltetet, mely a feladattól függően lehetett

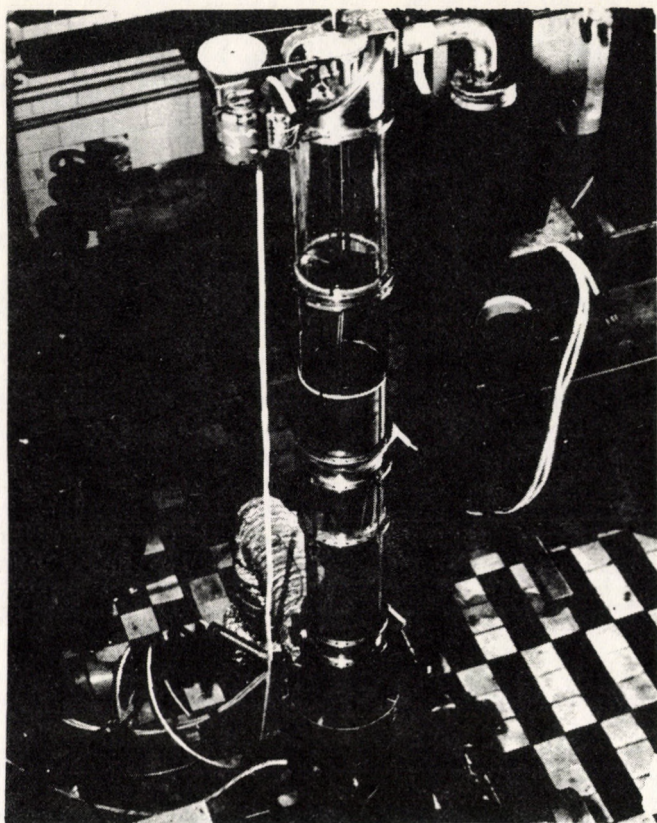
- a szárított, szemcsés termék,
- granulált végtermék,
- egyéb szemcsés anyag,
- inert töltet, például:

a gejzíres eljárásra jellemző recirkulációs mozgásba hoztuk. Ez a rétegmozgás az anyag minőségétől függően, a megfelelő irányítotttsággal, sebességgel és nyomással a szárítóba áramló levegő hatására, ill. a megfelelő készülék-betételek egyikének vagy együttes alkalmazásával kialakítható. A nedves anyagot – szuszpenziót, pépet, leveket, stb., – a szárítólevegővel megfelelő hőmérsékletre felmelegített mozgó töltet csúszórétegű héjrézének felszínére juttattuk, lehetőség szerint folyamatosan és egyenletesen eloszlva. A kísérleti körülmények kellő megválasztásával (rétegmagasság, recirkulációs szemcsesebesség, hőmérséklet és szárítólevegő-mennyiség stb.) elérhető, hogy a nedves anyag a csúszó töltet felületén, ill. a töltet szemcséi között a rétegmagasságnak megfelelő úthosszon olyan mértékben elveszítse víztartalmát, hogy a készülékéjébe jutva az ott beáramló nagysebességű meleg levegő hatására a kívánt végnedvességet többé-kevésbé elérje. A betétcsőben kialakuló függőleges pneumatikus szállítási szakaszban már csak a szükséges utószáradás megy végbe, ill. a száraz terméknek a rétegből való kihordása, akár a távozó levegővel együtt (ciklonos elvétel), akár kiadagoló szerkezet segítségével (pl. csigás kiadagoló vagy túlfolyórendszerű elvételi csővön át).

A következőkben néhány funkciópróba jellegű szárítási kísérlet eredményeit és tapasztalatait foglaljuk össze:

Az ismertetett konstrukciójú gejzír-készülékben (1. a 3.13. ábrát (mindenekelőtt meghatá-





3.13. ábra  
Műanyaggolyók, üveg-, vagy porcelángolyók, szemestermény,  
kukorica-, búzadara stb.

roztuk a vízpárolgatási teljesítményt, mégpedig kétféle alaptölteten:

- 10 mm átmérőjű polypropylen (tehát tömör) a golyócskákból álló tölteten, valamint
- porózus szemcsék (1-3 mm szemcsefrakciójú búzadara) rétegére juttatva a megfelelő (eltávolítható) vízmennyiséget.

A kísérleti készülék a búzadarával végzett mérésnél annyiban tért el az előzőtől, hogy ebben az esetben egy speciális – vászonból készített – készülékfelsőrészt alkalmaztunk, melyen keresztül a levegő szabadon távozhatott, az alaptöltetet képező búzadara szemcséket azonban visszatartotta.

A kísérleti eredményeket a 3.5. táblázatban foglaltuk össze:



Alaptöltet	Levegő hőmérsék- l. $^{\circ}\text{C}$	Rétegmagas. (mm)	Fajl. vízp. ( $\text{Kp}/\text{m}^3\text{h}$ )	Bevitt villamos kW	Fajl. hőfelh. ( $\text{Kcal}/\text{Kpvíz}$ )
10 mm átmérőjű polypropylen folyók	107	1000	272,9	4,5	948
búzadara 1-3 mm-es szemcsefrakciója	185	1500	486	9	710

A fajlagos hőfelhasználás a búzadara tölteten végzett mérésnél igen jó, lényegesen jobb, mint a polypropylen töltet mért vízpárologtatásánál. A búzadara töltet esetén ugyanis, mint azt már említettük, speciális készülékfelsőrészt alkalmaztunk, amely lehetővé tette egyrészt a rétegmagasság, másrészt a levegőmennyiség növelését, vagyis a vízpárologtatás optimális kísérleti körülményeinek a beállítását.

A következőkben röviden összefoglaljuk (1. a 3.6. táblázatot) az ismertetett konstrukciójú gejzír-készülékben végzett azon kísérletek eredményeit és tapasztalatait, amelyeknek célja néhány hőérzékeny – fehérjetartalmú – tehát kémiletes kezelést igénylő modellanyagon keresztül az új nedvességelvonási eljárás vizsgálata volt, oldatok, szuszpenziók, gépek esetén.

3.6. táblázat

Modellanyagok	Alaptöltet	Adagolás ( $\text{Kp}/\text{h}$ ) <sub>z</sub>	Levegőhőmérsék- let $(^{\circ}\text{C})$
főlözött tej	10 mm átmérőjű polyetylen golyók	2,05	101
lucernalé	”	2,01	104
kukoricából készített keményítő, cukor és fehérje tartalmú vizes szuszpenzió	10 mm átmérőjű polypropylen go- lyók	6,0	148

A főlözött tej esetén a töltet-golyócskák közeiben és felületén a tejbevonat a rétegfelszínből a készülékajlba érve megszáradt, arról lepattogzott és a levegővel együtt távozott a szárítóból. Az optimális kísérleti körülmények meghatározása további kísérleti munkát igényel.

A lucernalével végzett nedvességelvonási kísérletek alapján megállapítható volt, hogy a töltet-golyócskákat a lucernalé egyenletesen bevonja és a felületén egy jól száradó, majd lepattogzó réteget alkot.

A kukoricából készített fehérjedús takarmány gejzír-rétegű szárítására irányuló kísérletek, mint funkciópróbák biztató eredményt adtak. Az üzemi megvalósítást azonban, tekintettel a hőérzékeny, cukortartalmú tehát igen ragadós anyagra, még széleskörű kísérleti munkának kell megelőznie.



## 6. Összefoglalás

E fejezetben részletesen ismertettünk egy új, intenzív eljárást, az ún. „gejzír-eljárást”, amelynek segítségével számos mezőgazdasági szárítási feladat oldható meg korszerű, gazdaságos és ami igen fontos, a fehérjetartalmat kimélő módon.

Összefoglaltuk azokat a kutatási eredményeket, amelyek a gejzír-szárítók méretezéséhez szükséges áramlástanai összefüggések — mint pl. az alkalmazható rétegmagasság, a réteg recirkulációs „gejzíres” mozgásának levegő és nyomásszükséglete, a szemcsék recirkulációs sebessége, a szemcse tartózkodási időeloszlás, a gázsebességeloszlás, stb. — meghatározásához vezettek.

Ismertettük az alapszabadalom szerinti készülék konstrukcióit, a gejzír-eljárás előnyeit és korlátait. Részletesen beszámoltunk azokról a kutatásainkról, amelyeknek célja a méretnövelés szempontjából előnyösebb, az üzemeltetési energia csökkentését és az alkalmazási területek kiszélesítését eredményező új konstrukció kidolgozása volt.

A MTA Műszaki Kémiai Kutató Intézet és a Keszthelyi Agrártudományi Egyetem közös szabadalmát képező új gejzír-szárító konstrukció vizsgálataink alapján alkalmas mind a nagyszemcsés szemestermények, mind pedig az aprómagvak, olajos magvak, őrlemények, darabos, vágott zöldségfélék kiméletes szárítására. Újabb vizsgálataink és kutatási munkánk szerint előnyösen alkalmazható továbbá hőérzékeny szuszpenziók, pépek, levek kiméletes nedvességelvonására, szárítására.

Példaképpen kiemeltünk néhányat — nagylaboratóriumi méretű gejzír-szárítóban végzett — szárítási kísérleteink eredményei közül, bemutatva ezeken keresztül néhány jellegzetes alkalmazási területet, az elérhető előnyös fajlagos hőfelhasználást, a kiskészüléktérfogat mellett biztosítható nagy szárítási teljesítményeket. A gejzír-eljárás alkalmazásával járó számos előny ismertetése mellett azonban igyekeztünk rámutatni a hibalehetőségekre, az eljárás korlátaira, a hibák kiküszöbölését célzó további kutatások irányára és szükségességére is.



## IRODALOM

- ( 1) MATHUR, K.B. — GISHLER, P.E.: „A study of applications of the spouted bed technique to wheat drying”. Presented to Society of Chem. Industry. London (1954.).
- ( 2) MATHUR, K.B. — GISCHLER, P.E.: Am. Inst. Chem. Eng. J. 1, 157, (1955.).
- ( 3) MATHUR, K.B. — GISCHLER, P.E.: J. of Appl. Chem. 5, 624. (1955.).
- ( 4) GISCHLER, P.E.: U.S. Patent Off. 2. 786, 280. (1957.).
- ( 5) PALLAINÉ, VARSÁNYI E.: Kandidátusi disszertáció MTA Budapest, 1972.
- ( 6) MALEK, M.A. — BENJAMIN, C. — Lu, Y.: Ind. Eng. Chem. 4, 123. (1956.)
- ( 7) THORLEY, B. — SAUNBY, J.B. — MATHUR, K.B. — OSBERG, G.L.: Can. J. of Chem. Eng. 37, 184 (1959.).
- ( 8) BECKER, H.A. — SALANS, H.R.: Chem. Eng. Sci. 13, 245. (1961.).
- ( 9) PALLAINÉ, VARSÁNYI E. — NÉMETH, J.: Szemcsecirkuláció és tartózkodási időeloszlás vizsgálata gejzír-szárítókban. III. Szárítási Konf. Kiadványa. Budapest, 1973.
- (10) NÉMETH, J. — BLICKLE, T. — PALLAINÉ VARSÁNYI E. — GYÖRY, J.: Készülék kétfázisú rendszerek szabályozott idejű hatékony érintkeztetésére. MNK szabadalom. 160333 sz. 1973. okt. 22.
- (11) ARADI, E. — BLICKLE, T. — MONOSTORI, E. — NÉMETH J. — PALLAINÉ VARSÁNYI, E. — VARGA, J.: „Készülék és eljárás szemcsehalmaz és fluidum gejzír-rétegű érintkezésére, szárítására. Bejelentett szabadalom. MA 2801. 1976. július.
- (12) ARADI, E. — PALLAINÉ VARSÁNYI E.: Fűszerpaprika szárítása újtípusú gejzír-szárítóban. Alkalmazott Fiz. kém. Konf. Veszprém, 1977.



## IV. FEJEZET

BLICKLE TIBOR – NÉMETH JENŐ – PALLAINÉ VARSÁNYI ERZSÉBET  
SZÁRÍTÓBERENDEZÉSEK RENDSZERSZEMLELETŰ VIZSGÁLATA

A különböző vegyipari, ill. fizikai műveletek megvalósítása meghatározott műveleti egységek alkalmazásával történhet. Ezek szerkezete az alábbi matematikai formában írható fel:

$$v : A / \longleftrightarrow R$$

vagyis a műveleti egységet leírja a művelet (jelen esetben tehát a szárítás) során jelenlevő anyag (A), a műv. egységben megvalósított változás (például a nedvességtartalom csökkenés) és a műveleti egység megvalósítását jellemző többi tulajdonság (R). Az „R” tehát azon tulajdonságoknak az összessége, melyeknek ismerete feltétlenül szükséges ahhoz, hogy az adott változást biztosító műveleti egység a valóságban megvalósítható legyen. Ezért ez utóbbit egzisztenciális tulajdonságoknak is nevezhetjük.

Az egzisztenciális tulajdonságokat legegyszerűbben úgy kaphatjuk meg, hogy a megvalósító szemszögéből teszünk fel kérdéseket és összegyűjtjük a kapott válaszokat (1). Amennyiben a kérdéseket a műszaki kémia belső logikájának megfelelően rendszerezve tesszük fel, akkor az egyes kérdések meghatározott körű tulajdonságok halmazát jelölik ki, a kérdésekre megadott válaszok pedig megadják a halmazok elemeit. Kérdéseket tehetünk fel például a fázisok megjelenési formájára, áramlási állapotára, a berendezés jellemző tulajdonságaira stb.

Egy konkrét műveleti egységben csak meghatározott tulajdonságok lehetnek együtt, mások nem. A közös előfordulás lehetősége adja meg a tulajdonsághalmazok elemei között fennálló – algebrai formában is felírható – egzakt relációkat.

A tulajdonsághalmazokat és a közöttük lévő relációk halmazát legszemléletesebben egy erre a célra megszerkesztett gráfban mutathatjuk be. A gráfon a tulajdonsághalmazoknak a gráfpon-tok, a köztük fennálló relációknak a gráfélek felelnek meg.

A szárítási műveleti egység tulajdonsághalmazait és a köztük lévő kapcsolatokat a 4.1. ábrán feltüntetett általános jellegű gráf alapján ismertetjük.

*Halmazállapot* (H-tulajdonságosztály)

Elemei megadják a komponensek halmazállapotát az anyagi rendszer p nyomásához és t hőmérsékletéhez tartozóan. Szárítás esetén ezek az elemek a következők lehetnek:

$h_1$  szilárd (a szárításra kerülő nedves anyag, ill. termék)

$h_2$  gáz (a szárítóközeg, ill. a távozó gáz, vízgőz)

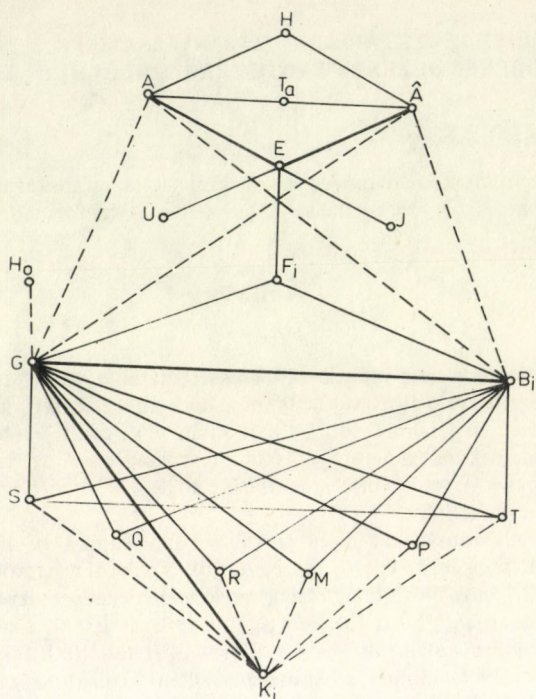
$h_3$  folyadék (oldatok, szuszpenziók, amennyiben nagy nedvességtartalmú anyagok nedvesség-elvonása a műveleti cél.)

A szárításra kerülő szilárd anyag ill. a szárított termék tulajdonságait összefoglaló  $T_a$  – tulajdonságosztály csoport.

A szárítási művelet megvalósítási módját alapvetően a szárításra kerülő anyag azon tulajdonságai határozzák meg, amelyek felvilágosítást adnak a nedvességekötés módjára ( $T_n$ ), a szilárd fázis megjelenési formájára ( $T_{szm}$  és  $T_{fm}$ ) és a legjellemzőbb felületi tulajdonságokra ( $T_f$ ). Ezek a tulajdonságok együttesen képezik a  $T_a$ -tulajdonságosztály csoportot (2).

A  $T_n$ -tulajdonságosztály elemeit a 4.1. táblázat tartalmazza.





4.1. ábra  
Szárítási műveleti egység tulajdonságosztályok

A szárítási problémák zömét a  $t_{n5}$  tulajdonságelemmel jellemezhetjük. Ez esetben ugyanis a felületi nedvesség mellett a pórusokban kötött nedvességet is el kell távolítani, részben vagy teljesen. (például szemestermények, vetőmagvak, olajos magvak, takarmányőrlemények szárításánál).

A pusztai felületi nedvesség mezőgazdasági, ill. élelmiszeripari szárítási feladatoknál igen ritkán fordul elő, de gyakori vegyipari szárításoknál, mint például műanyag granulátumok, őrlemények, homok, stb. szárítása esetén.

A tulajdonságelemek összeállításánál a következő tiltást alkalmaztuk: kristályvíztartalmú anyagok – vagyis kémiaiilag kötött nedvességet tartalmazó anyagok – nem pórusosak, ennek megfelelően nem tartalmaznak pórusokban kötött nedvességet. Ez az eset áll fenn a  $t_{n3}$  és a  $t_{n4}$  tulajdonságelemeknél.

A szárításra kerülő anyagok és termékek jellemző megjelenési formáit, amennyiben ezek az anyagok szilárd fázisnak tekinthetők, a  $T_{sz}$  tulajdonságosztály rögzíti. A tulajdonságelemeket a 4.2 táblázatban foglaltuk össze.



A  $T_n$ -tulajdonságosztály (nedvesség kötési mód) elemei

4.1. táblázat

Osztály- elemek	Nedvességekötési módok:	Felületi nedvesség	Pórusokban kötött nedvesség	Kémiaileg kötött nedvesség
$t_{n1}$		1	0	0
$t_{n2}$		0	1	0
$t_{n3}$		0	0	1
$t_{n4}$		1	0	1
$t_{n5}$		1	1	0

A  $T_{szm}$ -tulajdonságosztály (a szilárd fázis megjelenési formái) elemei

4.2. táblázat

Osztály - elemek	Megjelenési forma	Szemcsé- zett	Darabos	Szálás	Porszerű (1 mm alatt)	Apró- szemcsés (1-10 mm)	Nagysze- szemcsés (10-30 mm)
$t_{szm1}$		1	0	0	1	0	0
$t_{szm2}$		1	0	0	0	1	0
$t_{szm3}$		1	0	0	0	0	1
$t_{szm4}$		0	0	1	0	0	0
$t_{szm5}$		0	1	0	0	1	0
$t_{szm6}$		0	1	0	0	1	1
$t_{szm7}$		1	0	0	1	1	0
$t_{szm8}$		1	0	0	0	1	1
$t_{szm9}$		1	0	0	1	1	1

Az alkalmazott tiltások egy része kézenfekvő, vagyis az anyag vagy szemcsézett, vagy darabos, ill. szálás, más része tapasztalati megállapítás, amennyiben a szálás anyagok méretét nem jellemeztük – bizonyos szálméret felett ugyanis vágják, szecskázzák, pl. 8-10 mm felett – a darabos anyagokat pedig 1 mm alatt porszerű szemcsézett anyagoknak tekintettük.

Az anyagok megjelenési formáit, amennyiben ezek ún. nagy nedvességű anyagok (oldatok, szuszpenziók, pépek, kásák) külön  $T_{fm}$  – tulajdonságosztályba soroltuk.

A tulajdonságosztály elemeit a 4.3. táblázatban gyűjtöttük össze. Célszerűen megkülönböztettünk ezen anyagcsoporton belül szivattyúzható és nem szivattyúzható anyagokat. Ez utóbbi anyagféleségek megjelenési forma szempontjából átmenetet képeznek a folyadéknak tekintett és a szilárd fázisok között. Rendszerezésünkben e nem szivattyúzható, de jelentős víztartalommal rendelkező, ennél fogva nem ömleszthető és nem keverhető anyagokat folyadékoknak te-



kintették. A szárítóba való beadagolásuk különböző adagolórendszerekkel, így például csigás, cellás stb. adagolókkal végezhető el.

A T<sub>fm</sub>-tulajdonságoztály (a folyadéknak tekintett nedvességtartalmú anyag megjelenési formája) elemei

4.3. táblázat

Osztály- elemek	Felületi tulaj- donságok	Gördülé- keny	Tapadós	Ragadós	Porlódó	Törékeny	Hőérzé- keny
t <sub>fm1</sub>		1	1	0	0	0	
t <sub>fm2</sub>		1	0	1	0	0	
t <sub>fm3</sub>		1	0	0	1	0	
t <sub>fm4</sub>		0	0	1	0	0	
t <sub>fm5</sub>		0	0	0	1	0	
t <sub>fm6</sub>		0	0	0	0	1	

A szuszpenziók abban az esetben nem szivattyúzhatók, ha a szemcsék mérettartama igen nagy. A nagyméretű szemcsék ugyanis könnyen kiülednek az adagolóvezetékben és így nem biztosítható az egyenletes összetételű anyagbeadagolás. Ez az eset következett be a kukoricaőrleményből (szemcsemérettartomány 0,1...7 mm) előállított, keményítőt, cukrot és fehérjét tartalmazó vízes szuszpenzió szivattyúzásánál, amíg a nagyobb méretű szemcséket szűrővel el nem távolítottuk, ill. amíg szűkebb tartományú (0,2...2 mm) őrlést nem biztosítottak az előállítás kezdeti szakaszában.

*Pépek* neveztük a szuszpenziót, amennyiben a szemcsék szabad szemmel nem vagy csak alig különülnek el egymástól, mintegy homogén fázist képezve. Pépes anyagoknál a szemcseméret általában 0,1 mm alatti. (Jellegzetes pépes anyag például a fogkrém vagy a folyékony sörélesztő. Az igen sűrű, ragadós pépek gyakran nem szivattyúzhatók.

*Kásának* a kisebb nedvességtartalmú, ezért nem önthető csak dagasztható, szabad szemmel elkülönülő, tehát nagyobb méretű szemcsékből álló, nem szivattyúzható szuszpenziót neveztük. Kásának tekinthető például a 0,5 mm feletti szemcsékből álló 40...45 s. %-nál nem több nedvességet tartalmazó kukoricaőrlemény, elcukrosított, ill. fehérjét és keményítőt tartalmazó állapotban.

A szárítási eljárás megválasztásánál fontos szerepet játszanak a kiindulási anyagok, ill. a végtermékek felületi tulajdonságai.

Az anyagok összetételéből, szerkezetéből stb. adódó felületi tulajdonságaira adják meg az alapinformációkat a 4.4. táblázatban összefoglalt „t<sub>f</sub>”-tulajdonságelemek.



T<sub>f</sub>-tulajdonságosztály (felületi tulajdonságok) elemei

4.4. táblázat

Osztályele- mek	Felületi tu- lajdonságok	Gördülé- keny	Tapadós	Ragadós	Porlódó	Törékeny	Hőérzékeny
t <sub>f1</sub>		1	0	0	0	0	0
t <sub>f2</sub>		1	0	0	0	0	1
t <sub>f3</sub>		1	0	0	1	0	1
t <sub>f4</sub>		0	1	0	0	0	0
t <sub>f5</sub>		0	1	0	0	0	1
t <sub>f6</sub>		0	0	1	0	0	1
t <sub>f7</sub>		0	0	0	1	0	0
t <sub>f8</sub>		0	0	0	1	0	1
t <sub>f9</sub>		1	0	0	1	0	0
t <sub>f10</sub>		0	0	0	0	1	0
t <sub>f11</sub>		0	0	0	0	1	1

E tulajdonságelemek összeállításánál a következő tíltásokat vettük figyelembe:

- gördülékeny anyagok (pl. borsó, kukorica, stb.) nem tapadósak vagy ragadósak,
- tapadós anyagok (pl. élesztő, mint szárított termék) nem gördülékenyek, nem ragadósak, porlódók vagy törékenyek,
- ragadós anyagok (tejpor, mint szárított termék) egyúttal hőérzékenyek is.

Törékenynek nevezzük azokat az anyagféleségeket, amelyek vagy ridegek, ezért hasadnak, vagy egyik méretük lényegesen kisebb a másikhoz képest, ezért száraz állapotban törnek (pl. szárított szecskázott lucerna).

A 4.1. ábrán bemutatott gráf „ $\hat{A}$ ”, ill. „ $A$ ” tulajdonságosztályai a szárítási műveletek esetében adják meg a lehetséges anyagátviteli, ill. hőátviteli módokat.

A szárítási művelet többféle úton valósítható meg. A megfelelő műveleti megoldást döntően az anyagi rendszer tulajdonságai határozzák meg, szoros kapcsolat van tehát az  $A$  és a  $T_a$  – vagyis a  $T_n$ ,  $T_{szm}$ ,  $T_{fm}$ ,  $T_f$  – objektumosztályok elemei között.

Az anyagátvitel jellege szárításnál –  $\hat{A}$  tulajdonságosztály.

$\hat{a}_1$  – nedvesség eltávolítása nyomáscsökkentéssel

$\hat{a}_2$  – indirekt hevítéssel

$\hat{a}_3$  – direkt hevítéssel

$\hat{a}_4$  – nedvesség eltávolítása meleg, meghatározott nedvességet tartalmazó levegő (gáz) áramban

$\hat{a}_5$  – meleg, száraz levegő (gáz) áramban

$\hat{a}_6$  –  $\hat{a}_1$   $\hat{a}_2$   $\hat{a}_{10}$  –  $\hat{a}_2$   $\hat{a}_5$

$\hat{a}_7$  –  $\hat{a}_1$   $\hat{a}_4$   $\hat{a}_{11}$  –  $\hat{a}_3$   $\hat{a}_4$

$\hat{a}_8$  –  $\hat{a}_1$   $\hat{a}_5$   $\hat{a}_{12}$  –  $\hat{a}_3$   $\hat{a}_5$

$\hat{a}_9$  –  $\hat{a}_2$   $\hat{a}_4$



A hőátvitel jellegét a szárításnál egyrészt az anyagátvitel „A” módja, másrészt a szárítást megvalósító eljárás határozzák meg.

*A hőátvitel jellege* – A tulajdonságosztály

- $a_1$  – hőátadás van a gáz és a szemcsék között (konvekció)
- $a_2$  – hőátadás van a gáz és a fal között (konvekció)
- $a_3$  – hőátadás van a szemcse és a fal között (kontakt átadás)
- $a_4$  – hőátadás van a szemcse-szemcse között (kontakt átadás)
- $a_5$  – indirekt külső fűtés ( $a_2^A a_1^A a_4$ )
- $a_6$  – direkt belső fűtés ( $a_2^A a_1^A a_4$ )

A szárítási műveletet megvalósító eljárást, az E-tulajdonságosztály elemezeit a  $T_a$  – tulajdonságosztály elemei határozzák meg.

*Eljárások* E-objektumosztály

- $e_1$  – fluidizációs eljárás (alkalmazva pl. őrlmények, darák, aprómagvak szárításánál)
- $e_2$  – gejzír eljárás (pl. szemestermények, hőérzékeny vágott zöldségfélék szárításánál)
- $e_3$  – pneumatikus eljárás (pl. liszt, porszerű anyagok szárításánál)
- $e_4$  – lebegtetéses eljárás (pl. hőérzékeny szálas anyagok, paradicsom mag-héj szárításánál)
- $e_5$  – csúszórétegű eljárás (szemestermények szárítása)
- $e_6$  – vibrációs eljárás (pl. hőérzékeny anyagok, mint gyümölcsfélék alaktartó szárításánál)
- $e_7$  – forgó réteg-áramló gáz (szálas, rostos anyagok szárítása)
- $e_8$  – eső réteg-áramló gáz (ellenáramú szárítás, lebegtetethető anyagok esetén alkalmazható)
- $e_9$  – állóréteg-áramló gáz (általában szakaszos szárítás)
- $e_{10}$  – álló réteg (szakaszos szárítás)
- $e_{11}$  – porlasztva szárítás (pl. tejpor előállítás)

A következőkben bemutatjuk az anyag tulajdonságait összefoglaló  $T_n$ ,  $T_{szm}$ ,  $T_{fm}$ , ill.  $T_f$  tulajdonságosztályoknak az E-eljárási tulajdonságosztállyal való lehetséges relációit.

A  $T_e$ -tulajdonságosztály (eljárások) és a  $T_{szm}$ , ill. a  $T_{fm}$ -tulajdonságosztályok (megjelenési forma) közötti kapcsolatok

4.5. táblázat

E-tulajdonságosztályok											
Megjelenési forma	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$
$t_{szm1}$	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0
$t_{msz2}$	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0
$t_{szm3}$	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0
$t_{szm4}$	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
$t_{szm5}$	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0
$t_{szm6}$	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
$t_{szm7}$	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0
$t_{szm8}$	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
$t_{szm9}$	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0
$t_{fm1}$	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1



Megjelenési forma	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$
$t_{fm2}$	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
$t_{fm3}$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
$t_{fm4}$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_{fm5}$	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_{fm6}$	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0

A tulajdonságosztályok közötti lehetséges relációk megállapításánál fel kell használnunk a műszaki gyakorlat tapasztalatait. Példaképpen kiemelünk a 4.5. táblázatból néhány döntés, vagyis néhány lehetséges, ill. megengedett kapcsolatot:

*Porszerű* anyagok ( $t_{szm1}$ ) pneumatikus szárítókban ( $e_3$ ), valamint vibrációs eljárással ( $e_6$ ) egyaránt száríthatók, míg erre a célra a gejzír-eljárás ( $e_2$ ) és a csúszó-rétegű eljárás ( $e_5$ ) nem alkalmas.

*Szűlas* anyagok ( $t_{szm4}$ ) lebegtetése ( $e_4$ ) és forgó réteg-áramló gázos eljárással – dobszárítók – ( $e_7$ ) száríthatók, míg többek között nem jöhetnek számításba sem a fluidizációs ( $e_1$ ), sem pedig a csúszó-rétegű ( $e_5$ ) eljárások. A 4.6. táblázatban az anyagok felületi tulajdonságai, valamint az eljárások közötti relációkat gyűjtöttük össze.

A  $T_e$ -tulajdonságosztály (eljárások) és a  $T_f$ -tulajdonságosztály (felületi tulajdonságok) közötti kapcsolatok

4.6. táblázat

E-objektumosztály

Felületi tulajdonságok	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$
$t_{f1}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$t_{f2}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
$t_{f3}$	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
$t_{f4}$	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
$t_{f5}$	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
$t_{f6}$	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_{f7}$	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
$t_{f8}$	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
$t_{f9}$	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
$t_{f10}$	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
$t_{f11}$	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0

A kapcsolatok kijelölésénél érvényesülő szempontok a következők voltak: Porlódó anyagok súrlódó, ütköző mozgást kialakító szárítókban nem száríthatók. A tapadósság kizárja az egyenletes szemcsemozgást, vagy gázeloszlást igénylő eljárások (pl. a fluidizációs, ill. gejzír-eljárások) alkalmazását. A jellemző felületi tulajdonságokat úgy értelmeztük, hogy azok az adott esetben nagymértékben érvényesülnek.



Végül vizsgálva az eljárást kevésbé meghatározó tulajdonságokat, a nedvességmegkötés módját, a reális kapcsolatokat a 4.7. táblázatban foglaltuk össze.

A  $T_e$ -tulajdonságosztály (eljárások) és a  $T_n$ -tulajdonságosztály (nedvesség-kötési módok) közötti kapcsolatok

4.7. táblázat

Nedvesség meg- kötési módok	E-objektumosztály										
	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$
$t_{n1}$	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0
$t_{n2}$	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0
$t_{n3}$	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0
$t_{n4}$	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
$t_{n5}$	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0

A relációkat a következő szempontok szerint állapítottuk meg:

Kémiaiilag kötött nedvesség eltávolítására csak jól szabályozható tartózkodási idejű szárítók, például a fluidizációs és a gejzír-rétegű szárítók alkalmasak. Felületi nedvességet célszerűen légárammal mozgatott rendszerű szárítókban vonhatunk el. Nem alkalmazhatók ezért a vibráció-, a csúszórétegű eljárások – az alkalmazható légmennyiség ezeknél az eljárásoknál korlátozott-, illetve az álló rétegű berendezések. Pórusokban kötött nedvességet hosszabb tartózkodási idő beállítására alkalmas szárítókban távolíthatunk el kellő mértékben. Nem alkalmasak erre a célra a rövid tartózkodási idejű lebegtetés, vagy az eső-rétegű szárítók. A lebegtetéses rendszerű szárítóknál a száraz termék a megfelelően beállított légsebesség hatására a légárammal együtt lép ki a szárítóból. A prusokban kötött maradék nedvesség nem okoz olyan mértékű szemcse, illetve anyagsűrűség különbséget a száraz termékéhez képest, hogy ennek alapján a tartózkodási idő pontosan beállítható, szabályozható lenne.

A szárítás megvalósítására alkalmas eljárások meghatározzák a szárítókészülék típusát, ugyanazon típuson belül azonban a jellemző anyagi tulajdonságok írják elő főként a megfelelő konstrukciót (speciális belső szerkezeti elemeket, így például tapadós anyagoknál a keverőt, vagy például a készülékalkapot. Így széles szemcseméretű esetén gyakran alkalmaznak fluidizációs-, gejzír-, lebegtető szárítóknál kúpos kiképzést, stb.)

A következőkben a szárítók gépészeti leírását, rendszerezését mutatjuk be a megfelelő tulajdonságokat magába foglaló objektumosztályok és ezeknek kapcsolatai alapján.

Szárítókészüléknek nevezzük a szárítási műveleti egység azon – gépészetileg is – egyértelműen elhatárolható részét, amelyben a nedvességelvonás, mint műszaki kémiai változás lejátszódik. A szárító, mint általában a műszaki kémiai berendezések, a benne levő anyagok, illetve a rajtuk végbemenő változások és a környezet között (a környezet alatt külső környezet értendő) konduktív kapcsolatot létesít.

Kérdés, milyen alapon lehet a „szárítóberendezést” vagyis általában a műszaki kémiai berendezést a gépek és készülékek rendszeréből kiemelni, önálló egységként elhatárolni? Az az energia nevezhető berendezésnek, például szárítóberendezésnek, mely a megfelelő anyag- és energiaáramok biztosításával önállóan működtethető, így például szárítás, mint műszaki cél esetén a nedves anyagból kiindulva a megfelelő minőségű száraz terméket állítja elő. Mindebből követ-



kezik, hogy a „berendezés” fogalmába bele kell értenünk mindazt, ami a működtetéséhez szükséges (hajtóművek, motorok, műszerek, kezelőszintek, stb.). A berendezés meghatározásánál tehát nem a benne létrejövő változás összetettségének mértéke játsza a döntő szerepet, sokkal fontosabb a kiszakaszolhatóság. Ez azt jelenti, hogy az összetett rendszer „berendezésnek” tekinthető része anyag és energiaáramokat továbbító vezetékek segítségével a rendszer többi tagjához csatlakoztatható. Tekintsük például a porlasztó szárítót, a fluidizációs porlasztásos granuláló esetét. Ha csak a változásokat vennénk figyelembe, akkor a porlasztót önálló berendezésként is tekinthetnénk, hiszen a porlasztás méretváltozásos folyamat. Viszont, ha kiemelnénk a porlasztót az egész berendezésből, a fentebb ismertetett elvek szerint, a berendezés jellegét szüntetnénk meg. Tehát a porlasztó nem tekinthető önálló berendezésnek. Ezzel szemben a folyamat ellenítettjét megvalósító készülékek (például cseppelválasztók, porleválasztók) önálló berendezésnek tekinthetők.

A berendezés meglehetősen komplex, sokféle részből összetett egység, amit szükséges részekre bontanunk, mégpedig úgy, hogy a műszaki kémiai vizsgálatok szempontjából fontos egységekre irányítsuk a figyelmet.

A szárítóberendezéseket — általában a műszaki kémiai berendezéseket — az alábbi tulajdonságosztályokkal jellemezhetjük:

- G — gép- vagy készüléktest
- B — belső szerkezeti elemek
- K — csomópontok és alátámasztások
- M — megjelenési forma
- P — jellemző helyzet
- Q — a berendezéselemek alakja
- X — a berendezéselemek mozgási lehetősége
- S — a berendezéselemek szerkezeti anyaga
- T — a berendezéselemek gyártástechnológiája

Ez a felbontás nem tartalmazza az általánosan értelmezett szárítóberendezés minden tagját. Jelen tárgyalásnál nem foglalkozunk a kisegítő berendezésekkel, mint a ventilátor, a léghevítő, az adagolók és termékelvevők.

A következőkben részletesebben ismertetjük a G...T-objektumosztályokat, kiemelve ezen osztályok tulajdonságelemeit, melyek a szárítóberendezések esetében jelentőséggel bírnak.

#### Készülék vagy géptest (G-tulajdonságosztály)

A készülék vagy géptest feladata kettős. Elsődleges szerepe, hogy a műszaki kémiai változás megvalósításához szükséges mértékben elhatárolja a folyamatot a környezetétől. További feladat lehet, hogy a lejátszódó folyamathoz meghatározott mennyiségű hőt vigyen be, vagy vonjon el valamely hőközlő elemen keresztül.

Hőkezelő elem lehet szárítók esetében például a

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| zárt rendszerű duplikatúra: | köpeny,<br>cső,<br>csőkígyó, stb.  |
| nyitott rendszerű:          | borda vagy lemez,<br>villamos ellenállás fűtés,<br>indukciós fűtés, stb. |

A készülék vagy géptest lehet: *nyitott és zárt.*

Nyitott a géptest, ha benne lejátszódó folyamatot nem zavarja a környezettel való érintkezés (és viszont), vagy a folyamat lejátszódásához szükség van a környezettel való érintkezésre (pl. nyíltzúni gyümölcs aszalás, szárítás, stb.) Ez utóbbi esetben tehát a folyamat és a külső környezet között konvektív kapcsolat van.



Zárt a készülék vagy géptest abban az esetben, ha a folyamatot teljes mértékben el kell határolni a környezettől, azaz a folyamat és a környezet között a készüléktest falán át van kapcsolat, konduktív kapcsolat. (Zárt rendszerű a legtöbb szárítóberendezés, elsősorban a vákuumban, vagy inert gázzal működők).

A készülék vagy géptest (*G tulajdonságosztály*) elemei szárítók vonatkozásában:

- a<sub>1</sub> . . nyitott készüléktest hőközlő elem nélkül (pl. nyitott krete szárítók gázátáramoltatással, nyíltszíni szárítás, aszalás, stb.)
- g<sub>2</sub> . . zárt, osztott készüléktest, hőközlő elem nélkül (pl. vákuum szárítók)
- g<sub>3</sub> . . nyitott készüléktest, zárt hőközlő elemmel (pl. vibrációs vályú, fluidizációs vályú falfűtéssel ellátva)
- g<sub>4</sub> . . zárt, osztott készüléktest zárt hőközlő elemmel (pl. fluidizációs szárító, falfűtéssel ellátva, esetleg többrétegű megoldásban, stb.)

#### Csonkok és alátámasztások (K-tulajdonságosztály)

A K-tulajdonságosztály csoport magába foglalja a következő tulajdonságosztályokat:

K<sub>a</sub> - alátámasztások

A szárítótestet a talajon, állványzaton, gépalapon, stb. a géptesthez mereven kapcsolódó alátámasztások rögzítik.

K<sub>b</sub>, K<sub>c</sub> anyagbevezető és elvezető csonkok

Az anyag be- és elvezető csonkok, nyílások biztosítják a készüléktest által határolt térrésznek a környezettel, más berendezéssel vagy a berendezés más részével – pl. részleges recirkulátálás esetén – való meghatározott célú összekapcsolásának a lehetőségét. Rajtuk keresztül vezetjük be – ill. el a „változásban” résztvevő anyagokat a célnak megfelelő mennyiségben.

K<sub>t</sub> – tömszelencés csatlakozások

Általában forgó tengelyek tömítésére szolgálnak, nyomásra, vákuumra megfelelően kialakítva. Ide tartoznak pl. az elektromos tömszelencés csatlakozások is.

K<sub>m</sub> – műszercsonkok

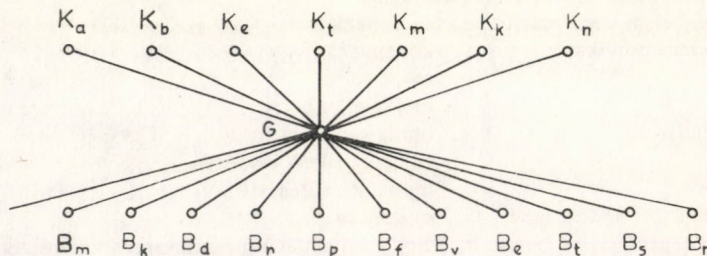
Szárítók esetében ezek általában a hőmérsékletmérő, a nyomásmérő és mintavevő csonkok, a szintmutató csatlakozó csonkjai, a szabályozók visszacsatoló csonkjai.

K<sub>k</sub> – kezelő és tisztítónyílások

K<sub>n</sub> – néző és világító ablakok

A K tulajdonságosztályok elemeit nem részleteztük, mivel ezek megegyeznek szárítók esetében is az általános értelemben vett „műszaki kémiai berendezések” megfelelő tulajdonságelemeivel.

A G készülék vagy géptest objektumosztályhoz való kapcsolódásukat a 4.2. ábrán feltüntetett gráffal szemléltetjük.



4.2. ábra

A géptest, az alátámasztások és csonkok, a belső szerkezeti elemek kapcsolódása



### Belső szerkezeti elemek (B-tulajdonságosztály) csoport.

A belső szerkezeti elemek a készüléken belül elhelyezett, a folyamatban résztvevő anyagokkal közvetlenül érintkező és speciális feladatokat ellátó alkatrészek. Szerepük meghatározó jellegű lehet valamely műveleti, eljárás áramlási állapot létrehozása, de rendelkezhetnek pusztán gépészeti funkcióval is, mint például belső tartó, rögzítő elemek. Alkalmazásukat, kialakításukat egyazon szárítótípuson belül is a szárításra kerülő anyagok, ill. a szárított termékek tulajdonságai határozzák meg. E szerkezeti elemek egy része a készülékekből kiemelve, önállóan is működtethető, ill. működőképes egységet képezhet, mint a szárítóba beépített porleválasztó ciklon hosszabb tartózkodási időt igénylő szárításnál, széles szemcseméret határral rendelkező anyagok esetében.

A belső szerkezeti elemek következő csoportosításában a gépészetileg hasonló feladatok elvégzését végző elemeket egy tulajdonságosztályba soroltuk. Az egyes elemeket a gépészeti rajzszerkesztésnél szokásos ún. darabjegyzéken feltüntetett megnevezések szerint jelöltük meg.

#### Szárítók belső szerkezeti elemei:

##### Aprító és törő elemek B<sub>a</sub>-tulajdonságosztály

- b<sub>a1</sub> pálcák, lécek (pl. dobszárítóban),
- b<sub>a2</sub> golyók (pl. aprító funkcióval is rendelkező inert töltet gejzír-szárítóban),
- b<sub>a3</sub> kalapácsok, kések (pl. forgó kalapácsok lucerna szárítására alkalmas lebegtető szárítóban),
- b<sub>a4</sub> egyéb törőelemek.

##### Belső mechanikus anyaghordozók B<sub>m</sub>-tulajdonságosztály

- b<sub>m1</sub> csiga (pl. csigás továbbítású fluidizációs szárító, gejzír-szárító stb.),
- b<sub>m2</sub> szalag (pl. szalagos szárító),
- b<sub>m3</sub> koci (pl. alagútszárító),
- b<sub>m4</sub> kaparólánc (pl. kaparóláncos, szitatálcás szárító),
- b<sub>m5</sub> forgó lapát (pl. forgólapátos vákuumszárító).

##### Keverő elemek B<sub>k</sub>-tulajdonságosztály

- b<sub>k1</sub> szivattyúzó keverők (pl. keverős gejzír-szárító),
- b<sub>k2</sub> lassú fordulatu keverők (keverős fluidizációs szárító),
- b<sub>k3</sub> görgős filmképző rotor (filmszárító),
- b<sub>k4</sub> merev lapátos filmképző rotor (filmszárító),
- b<sub>k5</sub> lengő lapátos filmképző rotor (filmszárító),
- b<sub>k6</sub> egyéb filmképző elem.

##### Forgó dobok, hengerek B<sub>d</sub>-tulajdonságosztály

- b<sub>d1</sub> forgó fűtött hengerpár (hengersizárító),
- b<sub>d2</sub> forgó, fűtött hengerversor (pl. szárító hengerversor),
- b<sub>d3</sub> forgó hengerek (hengersizárító) —  $l/d \geq 1$  —,
- b<sub>d4</sub> forgó dobok (dobszárító) —  $l/d \leq 1$  —,



**Belső energiaközlő elemek  $B_h$ -tulajdonságostálya**

- $b_{h1}$  csőköteg (pl. forgó csőköteges szárító),
- $b_{h2}$  csőkígyó (pl. vibrációs szárítóvályú felületi melegítéssel),
- $b_{h3}$  villamos fűtőpatron,
- $b_{h4}$  fűtött tányér (pl. terelőkaros, fűtött tányéros szárító).

**Belső fázisbevezető diszpergálók  $B_p$  - tulajdonságostálya**

- $b_{p1}$  hidraulikus porlasztó (pl. porlasztószárító),
- $b_{p2}$  pneumatikus porlasztó (pl. töltetes gejzír-szárító oldatok, szuszpenziók szárítására),
- $b_{p3}$  mechanikus forgótárcsás porlasztó (pl. porlasztó-szárító),
- $b_{p4}$  permetezőfej (pl. fluidizációs granuláló szárító),
- $b_{p5}$  lyukacsos locsolócső (pl. gejzír-szárító oldatok, levek szárítására),
- $b_{p6}$  nyomás alatti gázbevezetésre szolgáló fuvóka (pl. gejzír-szárító klasszikus kialakításában),
- $b_{p7}$  gáz-gáz (pl. örvölve szárító),
- $b_{p8}$  gáz-szilárd injektor (pl. pneumatikus vagy gejzír-szárítóknál).

**Fáziselosztó betétek  $B_f$ -tulajdonságostálya**

- $b_{f1}$  fáziselosztó töltet (gömbalakú) pl. gejzír szárítóban inert töltet),
- $b_{f2}$  fáziselosztó töltet (szabálytalan alakú) Pl. kavicsréteg fluidizációs szárítóknál).

**Fázist érintkeztető elemek  $B_e$ -tulajdonságostálya**

- $b_{e1}$  kúptányér (pl. álló réteg-áramló gáz rendszerű szárítóknál),
- $b_{e2}$  buboréksapkás tányér (pl. fluidizációs szárítóknál),
- $b_{e3}$  szelepes tányér (pl. fluidizációs szárító),
- $b_{e4}$  rács tányér (pl. átáramlásos rendszerű szárítóknál),
- $b_{e5}$  szitatányér (fluidizációs vegygejzír-szárítóknál).

**Terelő elemek  $B_t$ -tulajdonságostálya**

- $b_{t1}$  terelő lemez (pl. csúszóréteges aknaszárítóknál),
- $b_{t2}$  bukógát (pl. többretegű fluidizációs szárítóknál),
- $b_{t3}$  áramlást irányító (betétcsöves gejzír-szárító),
- $b_{t4}$  terelőkúp (pl. csúszóréteges aknaszárító).

**Torlasztó és hámozószerkezetek  $B_s$ -tulajdonságostálya**

- $b_{s1}$  ütköző lap (pl. lebegtető szárítóban),
- $b_{s2}$  terelőlemez láncra erősítve (pl. kaparóláncos-szárító),
- $b_{s3}$  terelőlemez szalagra erősítve,
- $b_{s4}$  kaparókés (pl. hengersizárítóknál),
- $b_{s5}$  hámozókés (pl. dobszárítóknál),
- $b_{s6}$  egyéb kaparóelem.



### Fázisválasztó betétek $B_v$ -tulajdonságosztály

$b_{v1}$  belső ciklon (pl. fluidizációs szárítókban)

$b_{v2}$  belső porzsák (pl. geizír-szárítóban, széles szemcseméret-határok esetén)

### Tengelyek, támasztók, és rögzítők $B_r$ -tulajdonságosztály

$b_{r1}$  keverő elemeket tartó tengely

$b_{r2}$  csőtengely, energia és fázis bevitelére

$b_{r3}$  betéteket tartó szerkezet

$b_{r4}$  belső támasztó szerkezet

$b_{r5}$  belső merevítő szerkezet

$b_{r6}$  egyéb

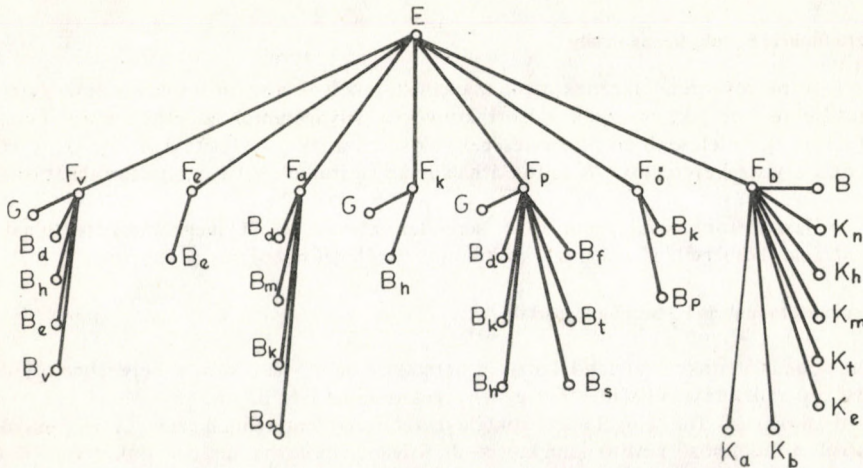
A géptest (G-objektumosztály), az alátámasztások és csonkok (K-objektumosztályok), valamint a belső szerkezeti elemeket összefoglaló B-tulajdonságosztályok kapcsolata a 4.2. ábrán látható.

### A szerkezeti elemek funkciói (F-tulajdonságosztály) csoport

A száradási folyamat lényegében a szárítóberendezésben valósul meg. Ha eldöntöttük, hogy milyen üzemelési móddal (szakaszos, folyamatos, félfolyamatos, recirkuláció nélkül vagy részleges recirkulációval), milyen eljárással szándékozunk megvalósítani a szárítási műveletet, kerül sor a berendezések kiválasztására. Úgy kell tehát készüléket vagy gépet kialakítanunk, hogy annak elemei működésük során képesek legyenek az adott feladat megoldására.

Fel kell tehát építenünk először egy követelményrendszert – konkrét feladatokat kell ebben kitűzni az egyes berendezéselemek számára – és az elemekből összeállított berendezést meg kell feleltetnünk a kitűzött célnak.

A berendezéselemek különféle feladatok teljesítésére alkalmasak, tehát funkcionálisan kapcsolódnak egymáshoz (az F-tulajdonságosztályon keresztül), valamint az alkalmazott eljáráson keresztül a rendszer többi tulajdonságaihoz. A berendezéselem és a funkciók kapcsolódását a 4.3. ábrán feltüntetett gráf szemlélteti (3).



4.3. ábra

A b-berendezéselemek és az F-funkciók kapcsolatát szemléltető gráf



A funkciókat maga a szárítási művelet speciális követelményei, az eljárás és a berendezés együttesen határozzák meg. A berendezéselemeket tehát úgy is jellemezhetjük, hogy milyen feladat betöltésére alkalmasak, illetve milyen feladat ellátását bízunk rájuk, amikor beépítjük a szárítóba. Így előfordul, hogy egymáshoz hasonló alakú, méretű, kialakítású belső szerkezeti elemek több funkciónak is megfelelnek. A perforált tányér például fluidizációs szárítóban gázelosztó alátétként áramlásmódosító funkcióval rendelkezik, egy többretegű fluidizációs szárítóban ugyanezeket rétegtartóként alkalmazva elválasztóként szerepel, azaz a berendezést elemi rétegekre bontja. A bordított eset is fennállhat. A csiga, mint belső szerkezeti elem a gejzír-száritóban egyrészt mechanikus anyaghordozó, a réteg belsejében a függőleges anyagszállítást biztosítja, ugyanakkor elősegíti a rétegen belüli szemcsereciklációt, vagyis áramlásmódosító funkciója is van egyúttal.

Az egyes szerkezeti elemek funkciói, azaz a szárítás során betöltött szerepük a következő tulajdonságosztályokba csoportosíthatók:

#### Válaszfal funkció $F_v$ -tulajdonságosztály

*Válaszfal* funkcióval rendelkeznek azok az elemek, amelyek a folyamatban résztvevő komponenseket – hőtartalmuk, fázisformájuk, vagy egyéb anyagi tulajdonságaik alapján elválasztják egymástól, illetve szelektíven átengedik az anyag, illetve az energia egy részét, a komponensek között konduktív kapcsolatot létesítve.

#### Az $F_v$ -tulajdonságosztály elemei:

- $f_{v1}$  konduktív hőközlés választó elemen keresztül (pl. gőzfűtésű készülékfal – filmszáritók, stb.),
- $f_{v2}$  konduktív impulzusközlés választóelemen keresztül (pl. vibrációs szárítóvályúnál a fűtött fenéklemez),
- $f_{v3}$  kétfázisú konvektív kapcsolat választóelemen keresztül (pl. szelektív válaszfalként működő szita falú betétcső gejzír-száritóban, mely a szilárd szemcséket visszatartja, de a gázt átengedi),
- $f_{v4}$  egyfázisú konvektív kapcsolat választóelemen keresztül (pl. porózus alátét fluidizációs vályú-száritóban),
- $f_{v5}$  válaszfal funkcióval nem rendelkeznek.

#### Elválasztó funkció $F_e$ -tulajdonságosztály

*Elválasztó* funkcióval rendelkeznek azok az elemek, amelyek a szárítót olyan elemi egységekre, azaz rétegekre bontják, amelyek között konvektív anyagáramok jöhetnek létre. Feladatuk lehet fázisok egyenletesebb érintkeztetésének, elosztatásának a biztosítása is úgy, hogy közben csökkentik a visszakeveredést. A rajtuk áthaladó anyagáramok belső energiatartalmát továbbítják.

Az elválasztó funkcióval rendelkező berendezéselemek tehát meghatározott tulajdonság (koncentráció, hőmérséklet, stb.), szerint különböző rétegekre bontják a szárítót.

#### Áramlásmódosító funkció $F_a$ -tulajdonságosztály

Áramlásmódosító funkcióval rendelkezik a berendezéselem, ha a szárító belsejében a jellemző áramlási kép kialakításában alapvető vagy lényeges szerepet játszik.

Áramlásmódosító funkcióval igen sokféle berendezéselem rendelkezhet, a legfontosabbak ezek közül a különböző keverőelemek, gáz- ill. folyadék elosztók, diszpergálók, terelő- és torlólemezek, fuvókák, inert töltet, stb.



### Az $F_A$ -tulajdonságsztály elemei:

- $f_{A1}$  konduktív impulzusközlés (vibrált alátét vibráció szárítónál),
- $f_{A2}$  kezdeti sebességprofil módosítása egyedi elemmel (pl. gázbevezető-fuvóka a gejzír-száritónál),
- $f_{A3}$  kezdeti sebességprofil módosítása összetett elemmel (pl. perditőtárcsás gázbevezetés gejzír-száritónál),
- $f_{A4}$  hosszanti sebességprofil módosítása egyedi elemmel (pl. terelőlemez a lebegtető szárítónál),
- $f_{A5}$  hosszanti sebességprofil módosítása összetett elemmel (pl. filmképző rotor filmszáritónál),
- $f_{A6}$  kezdeti és hosszanti sebességprofil módosítása egyedi elemmel (pl. a gázbevezetés fölé helyezett betétcső gejzír-száritóban),
- $f_{A7}$  kezdeti és hosszanti sebességprofil módosítása összetett elemmel (pl. filmképző görgők rotációs filmszáritókban),
- $f_{A8}$  komponens elosztás egyedi elemmel (pl. gázelosztó alátét fluidizációs vagy gejzír-száritókban),
- $f_{A9}$  komponens elosztás összetett elemmel (pl. tárcsás porlasztó porlasztva szárítókban),
- $f_{A10}$  kezdeti sebességprofil módosítás és komponens elosztás egyedi elemmel (pl. keverőelem a gázbevezetés felett gejzír-száritókban),
- $f_{A11}$  kezdeti és hosszanti sebességprofil módosítás és komponens elosztás egyedi, ill. összetett elemmel (pl. belső függőleges szállítócsiga gejzír-száritóban),
- $f_{A12}$  áramlásmódosító funkcióval nem rendelkezik,

### Energiaközlő funkció $F_K$ -tulajdonságsztály

*Energiaközlő funkcióval* rendelkeznek azok a szerkezeti elemek, amelyek nem anyaghoz kapcsolt hőenergiát visznek be, vagy vonnak el a szárítórendszerből. Csak azokat a berendezéselemeket tekintettük ilyen funkcióval rendelkezőknek, amelyek közvetlen eszközei az energiaátadásnak.

### Az $F_K$ -tulajdonságsztály elemei:

- $f_{K1}$  energiaközlés egyedi elemmel (pl. infrasugárzó test),
- $f_{K2}$  energiaközlés összetett elemmel (pl. nagyfrekvenciás fűtés),
- $f_{K3}$  energiaközlő funkcióval nem rendelkezik,

### Hőközléssel kapcsolt áramlásmódosító funkció $F_P$ -tulajdonságsztály

*Hőközléssel kapcsolt áramlásmódosító* feladatuk van azon elemeknek, amelyek úgy módosítják a fázisok áramlási képét, hogy közben növelik, vagy csökkentik a rendszer energiatartalmát.

- $f_{P1}$  energiaközlés egyedi forgó vagy lengő elemmel (pl. fűtött, forgó keverő fluidizációs szárítókban),
- $f_{P2}$  energiaközlés összetett áramlásmódosító elemmel (pl. fűtött, forgó csököteg dobszáritókban vagy hengerszáritókban),
- $f_{P3}$  hőközléssel kapcsolt áramlásmódosító funkcióval nem rendelkezik.

### Anyagbevitellel és energiaközléssel kapcsolt áramlásmódosító funkció $F_0$ -tulajdonságsztály

Az esetek többségében a belső szerkezeti elemeknek kettő vagy több funkciója is van, sőt, éppen a variációk határozzák meg az illető gépelem fajtáját.



### Az $F_{\bar{o}}$ -tulajdonságosztály elemei:

- $f_{\bar{o}1}$  kezdeti sebességprofil módosítás külső energiaforrással kapcsolt egyedi elemmel (pl. gáz-szilárd injektor pneumatikus szárítókban),
- $f_{\bar{o}2}$  kezdeti sebességprofil módosítás és komponens elosztás összetett elemmel (pl. pneumatikus porlasztófej porlasztva szárítókban vagy töltetes gejzír-szárítókban),
- $f_{\bar{o}3}$  anyagbevitellel és energiaközléssel kapcsolt áramlásmódosító funkcióval nem rendelkeznek.

A konstrukció kialakítása során fellépő, művelethez és eljáráshoz nem közvetlenül kapcsolódó funkció  $F_b$ -tulajdonságosztály.

Konstrukciós funkcióval rendelkeznek mindazon szerkezeti elemek, amelyek az  $F_v$ ,  $F_a$ ,  $F_h$ ,  $F_p$  és  $F_{\bar{o}}$  funkciójú elemeket tartják, rögzítik, biztosítják mozgáviszonyukat, azaz segítik funkciójuk betöltésében.

- $f_{b1}$  a készüléktest helyzetének biztosítása,
- $f_{b2}$  a komponensek be- és elvezetése,
- $f_{b3}$  az energia be- és elvezetése,
- $f_{b4}$  információk közlése a készülék belseje és a külvilág között,
- $f_{b5}$  egyes belső szerkezeti elemek helyzetének biztosítása,
- $f_{b6}$  egyes belső szerkezeti elemek mozgási állapotának biztosítása,
- $f_{b7}$  nincs ilyen funkciójuk.

Az eddig ismertetett tulajdonságosztályokba sorolt tulajdonságokkal a berendezések konstrukciós felépítését jellemeztük. A szárítók – a készüléktest, a belső szerkezeti elemek, a külső szerkezeti elemek – részletesebb leírására további tulajdonságosztályok szükségesek, például:

- megjelenési forma,
- a jellemző helyzet,
- az alak,
- a szerkezeti anyag,
- és a gyártástechnológia

megoldására van szükség.

### A belső szerkezeti elemek megjelenési formája M-tulajdonságosztály

A megjelenési forma a belső szerkezeti elemeknek olyan jellemző tulajdonsága, amely egyrészt az alkatrész szerkezeti anyagából adódik, másrészt a készülékben betöltött funkciójának megfelelő kialakítási mód, illetve a gyártástechnológia követelménye.

### Az M-tulajdonságosztály elemei:

- $m_1$  tömör (anyagában összefüggő),
- $m_2$  porózus (pl. a gázelosztó alátét fluidizációs szárítókban),
- $m_3$  perforált (pl. a betétcső a gejzír-szárítókban),
- $m_4$  szövött (pl. a belső porzsák),
- $m_5$  diszperz mono- és polidiszperz- (pl. inert töltetek fluidizációs vagy gejzír-szárítókban),
- $m_6$  szálal (pl. a kefék hengersizítóban, vagy porlasztva szárítókban).

### A jellemző helyzet P-tulajdonságosztály

A szárítóberendezések helyzetét a térben elrendezésükkel szokták jellemezni. Ez mindig a berendezés fő geometriai tengelyére vagy a forgástengelyére vonatkozik.



### A P-tulajdonságosztály elemei

- $p_1$  álló- vagy függőleges,  
 $p_2$  fekvő- vagy vízszintes,  
 $p_3$  ferdetengelyű.

A különböző belső szerkezeti elemek helyzetét gyakran az egymáshoz, vagy a gép- és készüléktesthez, illetve a tengelyhez viszonyított elhelyezésük jellemzi a legjobban.

### A belső szerkezeti elemek helyzete:

- $p_4$  koncentrikus — a főtengellyel egytengelyű —,  
 $p_5$  koaxiális — a főtengellyel párhuzamos —,  
 $p_6$  tangenciális — a főtengelyre és valamely sugárra merőleges —,  
 $p_7$  párhuzamos — valamely geometriai-iránnyal — (pl. a főtengellyel),  
 $p_8$  merőleges — valamely geometriai irányra —,  
 $p_9$  egyéb,  
 $p_{10}$  nem jellemző.

külön kell jellemezni a készüléktest ( $p_1 - p_3$ ), a belső szerkezeti elemek ( $p_4 - p_{10}$ ), valamint a csonkok ( $p_{11} - p_{14}$ ) elrendezését, helyzetét.

### A csonkok helyzete:

- $p_{11}$  alsó,  
 $p_{12}$  felső,  
 $p_{13}$  oldalsó,  
 $p_{14}$  nem jellemző.

### A készüléktest alakja Q-tulajdonságosztály

A szárítóberendezések alakjának leírásakor csak a külső megjelenési formára, a külalakra legjellemzőbb geometriai alakzatot adjuk meg.

### A Q-tulajdonságosztály elemei:

- |                    |                             |
|--------------------|-----------------------------|
| $q_{g1}$ hengeres, | $q_{g4}$ kúpos,             |
| $q_{g2}$ síkfalú,  | $q_{g5}$ kúpos és hengeres, |
| $q_{g3}$ gömfalú,  | $q_{g6}$ egyéb.             |

### A csonkok alakja (Q cs tulajdonságosztály)

- $q_{cs1}$  cső,  
 $q_{cs2}$  hasáb,  
 $q_{cs3}$  egyéb.

### Mozgási lehetőség X-tulajdonságosztály

A szárítóberendezések lehetnek „helyhez kötöttek” vagy „helyüket változtatók” például a különböző típusú mezőgazdasági szárítókocsok. Mindkét típuson belül lehetnek álló és mozgó gépek és (vagy belső szerkezeti elemek, amelyek fix kötéssel beállított pozíciót foglalnak el, vagy üzemkezdet előtt, illetve közben állíthatók. Azokat a belső szerkezeti elemeket nevezzük mozgóaknak, amelyek egymáshoz vagy a géphez, készüléktesthez viszonyított pillanatnyi helyzetüket változtatják.



#### Az X-tulajdonságosztály elemei:

- x<sub>1</sub> állítható – álló,
- x<sub>2</sub> állítható – forgó,
- x<sub>3</sub> állítható – kényszerpályán mozgó,
- x<sub>4</sub> állítható – forgó és kényszerpályán mozgó,
- x<sub>5</sub> nem állítható – álló,
- x<sub>6</sub> nem állítható – forgó,
- x<sub>7</sub> nem állítható – kényszerpályán mozgó,
- x<sub>8</sub> nem állítható – forgó és kényszerpályán mozgó.

#### A szerkezeti anyag (S-tulajdonságosztály)

A készüléktest szerkezeti anyagának kiválasztásánál a kiválasztási szempontok: a hő- korrózió-állóság, nagy nyomások esetén a szilárdság, továbbá a hő-, anyag-, vagy az impulzus-átbocsátó-képesség. A külső szerkezeti elemek – alátámasztások, csomópontok-, valamint a belső szerkezeti elemek egy része, különösen azok, amelyek nem oldható kötással csatlakoznak a készüléktesthez, szerkezeti anyaga általában megegyezik a készüléktest anyagával. A belső szerkezeti elemek anyagát főképpen a folyamatban résztvevő anyagok tulajdonságai határozzák meg, valamint az alkalmazott eljárás speciális követelményei.

#### Az S-tulajdonságosztály elemei:

- s<sub>1</sub> öntött vas,
- s<sub>2</sub> szénacél és enyhén ötvöztetett acél,
- s<sub>3</sub> ötvöztetett acél,
- s<sub>4</sub> egyéb fém,
- s<sub>5</sub> szerves anyag – nem fém –,
- s<sub>6</sub> szerves anyag,
- s<sub>7</sub> vegyes (pl. fém + nem fém)

#### Gyártástechnológiai (T-tulajdonságosztály)

E tulajdonságosztályba az egyes gép- és készülékreszek alaki, méreti kialakításának főbb lépéseit képező gyártástechnológiákat gyűjtöttük csak össze. Jóllehet, egy-egy alkatrész – méginkább egy komplett készülék – elkészítése az egyes technológiai lépések egész sorát igényli, mégis meg lehet állapítani, hogy egy-egy készülékelem döntően öntési, hegesztési technológiával, sajtolással vagy forgácsolással készíthető-e el. Az egyes gyártástechnológiai lépéseket továbbá a végbemenő változás és az anyag tulajdonságai is megkívánhatnak. Így például azt, hogy a légelező alátét szövött vagy szinterezett legyen-e, speciális bevonat alkalmazását – pl. teflonbevonatot erősen tapadó, ragadós élelmiszeripari, mezőgazdasági termékek szárításánál –.

#### A T-tulajdonságosztály elemei:

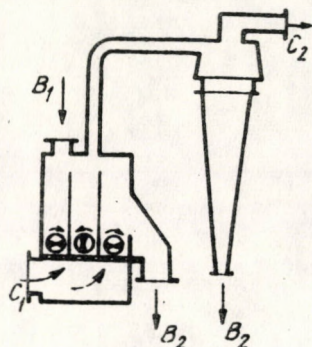
- |                             |                                      |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| t <sub>1</sub> öntés,       | t <sub>9</sub> égetés,               |
| t <sub>2</sub> húzás,       | t <sub>10</sub> szövés,              |
| t <sub>3</sub> sajtolás,    | t <sub>11</sub> felületkezelés,      |
| t <sub>4</sub> hegesztés,   | t <sub>12</sub> hőkezelés,           |
| t <sub>5</sub> hengerítés,  | t <sub>13</sub> rétegelés, ragasztás |
| t <sub>6</sub> kovácsolás,  | tekercselés                          |
| t <sub>7</sub> forgácsolás, | bevonás,                             |
| t <sub>8</sub> szinterezés, | bélelés,                             |
|                             | borítás,                             |
|                             | plattírozás.                         |



Az ismertett, — a szárítóberendezések leírásához szükséges — tulajdonságosztályok közötti kapcsolatokat a 4.1. ábrán, illetve a 4.2. és 4.3. ábrákon feltüntetett gráfok mutatják be, amelyek egyúttal kijelölik a szerkezetre jellemző kettős relációkat is. A relációmatrixokkal definiált szerkezet ismeretében olyan — számítógépre programozható — algoritmus áll rendelkezésre, amellyel a lehetséges szárítási műveleti egységek meghatározhatók.

Végezetül megadjuk a különböző eljárásokhoz tartozó funkció-berendezéselem tulajdonság relációkat a leggyakrabban idézett intenzív mezőgazdasági és élelmiszeripari szárítóberendezésekre vonatkozóan.

#### Fluidizációs ( $e_1$ ) eljárás



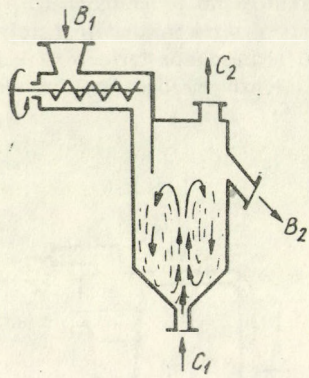
4.4. ábra

Csigás továbbítású fluidizációs szárító

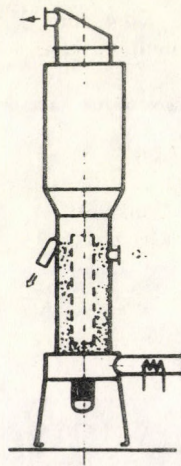
Az F-funkció és a B-berendezéselem tulajdonságosztályok kapcsolata a csigás továbbítású fluidizációs szárítónál

Berendezéselemek	Funkciók válaszfal ( $F_v$ )			
	$f_{v1}$	$f_{v2}$	$f_{v3}$	$f_{v4}$
$b_{h1}$	1	0	0	0
$b_{h2}$	1	0	0	0
$b_{h3}$	1	0	0	0
$b_{e2}$	0	0	0	0
$b_{e3}-b_{e5}$	0	0	0	0



Gejzír-eljárás ( $e_2$ )

4.5. ábra  
Hagyományos kialakítású gejzír-száritó



4.6. ábra  
Perditőtárcsás légbevezetésű betétcsöves gejzír-száritó





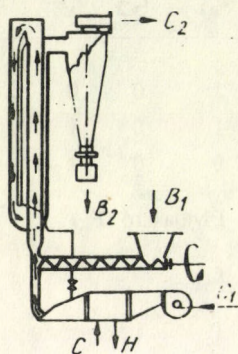


Berendezéselem	Funkciók Energiaközlő ( $F_k$ )					
	$f_{k1}$	$f_{k2}$				
$b_{h3}$	1	1				
	Hőkezeléssel kapcsolt áramlasmódosító funkció ( $F_p$ )					
	$f_{p1}$	$f_{p2}$				
$b_{k1}$	1	1				
$b_{k2}$	1	1				
	Anyagbevitellel és energiaközléssel kapcsolt áramlasmódosító funkció ( $F_p$ )					
	$f_{\phi 1}$	$f_{\phi 2}$				
$b_{p1}$	0	1				
$b_{p2}$	0	1				
$b_{p4}$	0	1				
	Konstrukciós funkció ( $F_b$ )					
	$f_{b1}$	$f_{b2}$	$f_{b3}$	$f_{b4}$	$f_{b5}$	$f_{b6}$
$b_{m1}$	0	1	0	0	0	0
$b_{v1}$	0	1	0	0	0	0
$b_{v2}$	0	1	0	0	0	0
$b_{r1}$	0	0	0	0	1	1
$b_{r2}$	0	1	1	1	0	0
$b_{r3}$	0	0	0	0	1	1
$b_{r4}, b_{r5}$	1	0	0	0	1	0

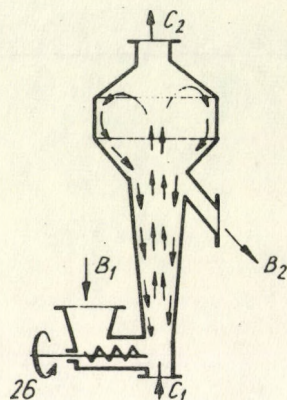








4.7. ábra  
Pneumatikus szűrítő



4.8. ábra  
Lebegtetéses szűrítő

Az F-funkció és a B-berendezéselem tulajdonságosztályok kapcsolata  
a pneumatikus és a lebegtetéses szűrítőknél

Berendezéselem	Áramlásmódosító ( $F_a$ )										
	$f_{a1}$	$f_{a2}$	$f_{a3}$	$f_{a4}$	$f_{a5}$	$f_{a6}$	$f_{a7}$	$f_{a8}$	$f_{a9}$	$f_{a10}$	$f_{a11}$
$b_{a3} - e_4$	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
$b_{t1}$	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
$b_{s1}$	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0

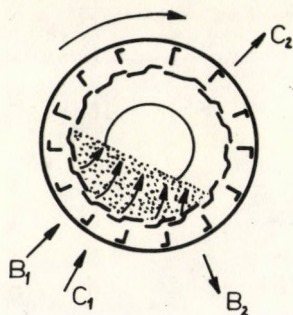


Berendezéselem	Funkciók					
	Energiaközlés ( $F_k$ )					
	$f_{k1}$	$f_{k2}$				
$b_{h3}$	1	1				
	Hőközléssel kapcsolt áramlasmódosító ( $F_p$ )					
	$f_{p1}$	$f_{p2}$				
$b_{t3}$	1	1				
	Anyagbevitellel és energiaközléssel kapcsolt áramlasmódosító ( $F_{\delta}$ )					
	$f_{\delta 1}$	$f_{\delta 2}$				
$b_{p1}$	0	1				
$b_{p2}$	0	1				
$b_{p4}$	0	1				
$b_p$	1	0				
$b_{p8}$	1	1				
	Konstrukciós funkció ( $F_b$ )					
	$f_{b1}$	$f_{b2}$	$f_{b3}$	$f_{b4}$	$f_{b5}$	$f_{b6}$
$b_{m1}$	0	1	0	0	0	0
$b_{v1}$	0	1	0	0	0	0
$b_{v2}$	0	1	0	0	0	0
$b_{r1}$	0	0	0	0	1	1
$b_{r2}$	0	1	1	1	0	0
$b_{r3}$	0	0	0	0	1	1
$b_{r4}, b_{r5}$	1	0	0	0	1	0



Berendezéselem	Funkciók					
	Anyagbevittel és energiaközléssel kapcsolt áramlásmódosító funkció ( $F_{\delta}$ )					
	$f_{\delta 1}$	$f_{\delta 2}$				
$b_{p6}$	1	0				
$b_{p8} - e_3$	0	1				
	Konstrukciós funkció ( $F_b$ )					
	$f_{b1}$	$f_{b2}$	$f_{b3}$	$f_{b4}$	$f_{b5}$	$f_{b6}$
$b_{r4}$	1	0	0	0	1	0
$b_{r1}$	0	0	0	0	1	1

Forgó réteg – áramló gáz ( $e_7$ )



4.9. ábra  
Forgó dobszárító

$B_1$ -nedves anyag,  $F_2$ -szárított anyag,  $C_1$ -levegő,  $C_2$ -páras levegő



**Az F-funkció és a B-berendezésem tulajdonságosztályok kapcsolata  
a forgó dobszártónál**

Berendezésem	Funkciók Válaszfal ( $F_v$ )			
	$f_{v1}$	$f_{v2}$	$f_{v3}$	$f_{v4}$
$b_{d4}$	1	0	1	1
$b_{t1}$	0	0	0	1

**Áramlasmódosító ( $F_a$ )**

	$f_{a1}$	$f_{a2}$	$f_{a3}$	$f_{a4}$	$f_{a5}$	$f_{a6}$	$f_{a7}$	$f_{a8}$	$f_{a9}$	$f_{a10}$	$f_{a11}$
$b_{a1}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$b_{a3}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$b_{t1}$	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

**Anyagbevitellel és energiaközléssel kapcsolt áramlasmódosító  
funkció ( $F_ö$ )**

	$f_{ö1}$	$f_{ö2}$
$b_{p6}$	1	0

**Konstrukciós funkció ( $F_b$ )**

	$f_{b1}$	$f_{b2}$	$f_{b3}$	$f_{b4}$	$f_{b5}$	$f_{b6}$
$b_{s4}$	0	1	0	0	0	0
$b_{s5}$	0	1	0	0	0	0
$b_{r1}$	0	0	0	0	1	1
$b_{r2}$	0	1	1	0	1	0
$b_{r3}$	0	0	0	0	1	1
$b_{r4} - 5$	1	0	0	0	1	0







## Összefoglalás

E fejezetben a szárítási művelet, illetve a szárítóberendezések rendszerszemléletű vizsgálatával foglalkoztunk. Ismertettük a szárítási műveleti egység tulajdonsághalmazait és a köztük lehetséges kapcsolatokat. Ez utóbbiakat jellegzetes gráfokkal is szemléltettük.

Az egyes tulajdonságosztályok elemeit táblázatos formában foglaltuk össze. A szárítási műveletet leíró tulajdonságosztályok között igen fontosak azok, amelyek felvilágosítást adnak a nedvességmegkötés módjára, a szilárd fázis megjelenési formájára, a felületi tulajdonságokra. Mindezek együttesen határozzák meg az anyagátvételi, ill. a hőátviteli módokat.

Részletesen ismertettük a szárítási műveletet megvalósító eljárásokat (az „eljárási” tulajdonságosztály elemeit), illetve ezeknek a szilárd fázis tulajdonságait tartalmazó osztályokkal való kapcsolatát. E kapcsolatok tulajdonképpen a különböző tulajdonságosztályok elemeinek egyidejű előfordulási lehetőségei.

Bemutattuk továbbá a szárítók gépészeti leírását, rendszerezését a megfelelő tulajdonságokat magába foglaló tulajdonságosztályok és ezeknek kapcsolatai alapján. E tulajdonságosztályok felvilágosítást adnak a gép – vagy készüléktest, a belső szerkezeti elemek, a csonkok és alátámasztások megjelenési formájára, jellemző helyzetére, alakjára, mozgási lehetőségére, szerkezeti anyagára, ill. a gyártástechnológiára.

A szárítót képező berendezéselemek különféle feladatok teljesítésére alkalmasak, tehát funkciókat tartalmazó tulajdonságosztályon keresztül). E kapcsolódásokat ugyancsak gráfokkal szemléltettük.

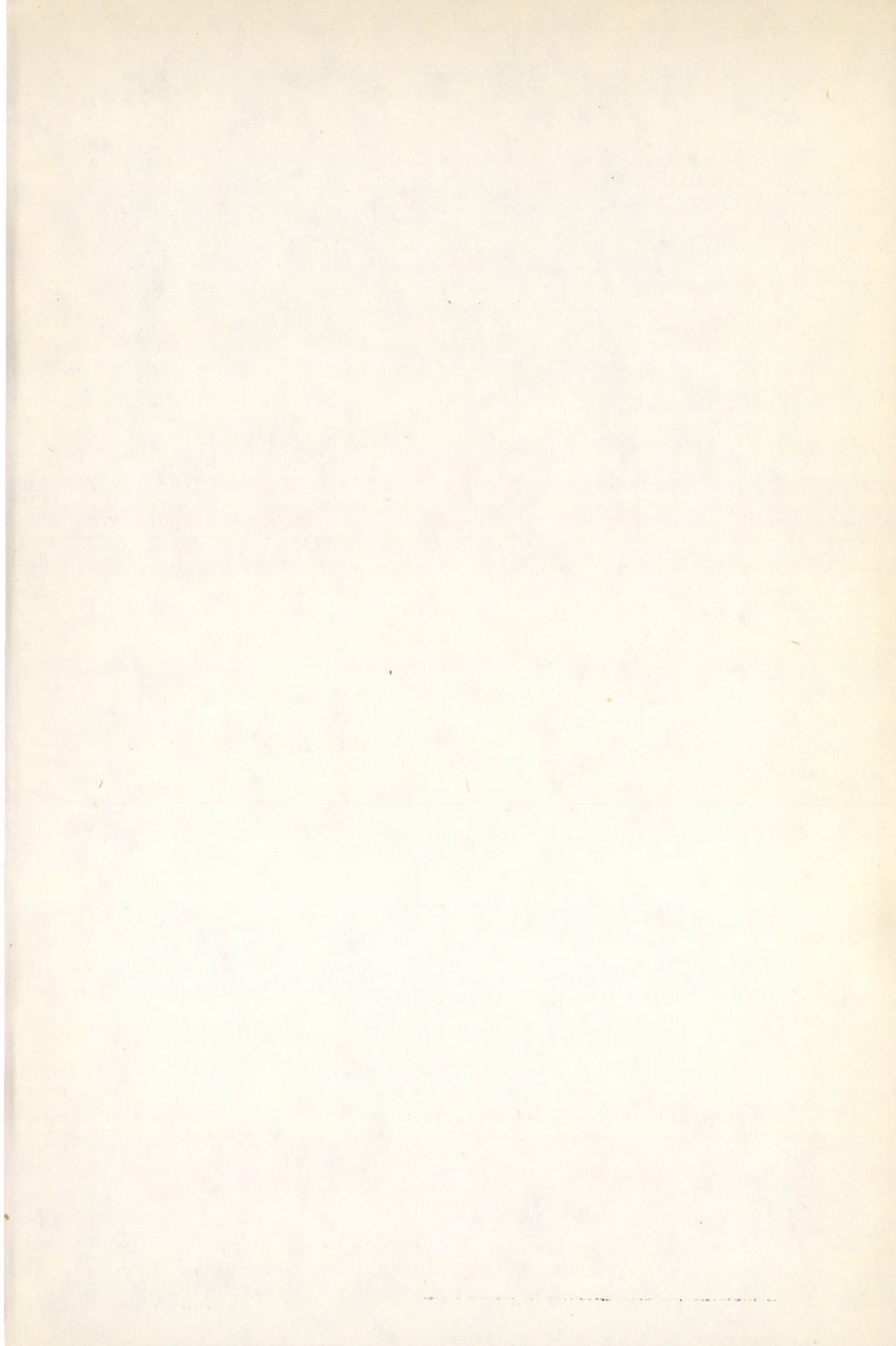
Megadtuk végezetül a különböző eljárásokhoz tartozó „funkcióberendezéselem” – tulajdonság relációkat legismertett és a legtöbbet idézett mezőgazdasági és élelmiszeripari szárítóberendezésekre vonatkozóan. A példaképpen kiemelt és ílymódon leírt szárítók a következők: a fluidizációs szárító, a hagyományos kialakítású és a perdítőtárcsás-betétcsöves gejzír-szárítók, a pneumatikus és a lebegtetéses szárítók, a forgó dobrendszerű szárító, valamint a porlasztva szárító berendezés.



## IRODALOM

- (1) MTA Műszaki Kémiai Kutató Intézet Eredményei II.: Műszaki kémiai rendszerek szerkezete. 1974. Veszprém.
- (2) PALLAINÉ VARSÁNYI, E.: Szárítók rendszerszemléletű vizsgálata. MTA Műszaki Kémiai Kutató Intézet Eredményei V. 1977. Veszprém.
- (3) „Vegyipari Berendezések rendszerszemléletű vizsgálata” MTA Műszaki Kémiai Kutató Intézet tudományos eredményei V. 1977. Veszprém.











ISBN 963 7121 02 1

ISSN 0324-6590

Kiadja: A MTA Veszprémi Akadémiai Bizottsága

A kiadásért felelős: Dr. Nemecz Ernő, a MTA VEAB alelnöke

A kötet az Országos Oktatástechnikai Központ sokszorosító üzemében készült

Példányszám: 400 db

Engedélyszám: 49751











